

COMPTE RENDU DE MISSION D'APPUI AU
PROJET DE PLANTATIONS LIGNEUSES IRRIGUEES
PROJET N'GAOULE

du 11 au 21 Février 1991

Vincent FREYCON

Mai 1991

CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL
Département du Centre de Coopération Internationale
en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD)

45 bis, avenue de la Belle-Gabrielle - 94736 NOGENT-sur-MARNE CEDEX
(FRANCE)

MISSION FRANCAISE DE COOPERATION
ET D'ACTION CULTURELLE - DAKAR

REPUBLIQUE DU SENEGAL

COMPTE RENDU DE MISSION D'APPUI AU
PROJET DE PLANTATIONS LIGNEUSES IRRIGUEES

PROJET N'GAOULE

du 11 au 21 Février 1991

Vincent FREYCON

Mai 1991

CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL
Département du Centre de Coopération Internationale
en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD)

45 bis, avenue de la Belle-Gabrielle - 94736 NOGENT-sur-MARNE CEDEX
(FRANCE)

S O M M A I R E

CALENDRIER DE LA MISSION

I - LE LIEU DE LA MISSION

II - LE CADRE DU PROJET N'GAOULE

III - PRESENTATION DE LA STATION

IV - ESSAI FREQUENCE D'IRRIGATION

1. Présentation
2. Objectifs de la mission d'appui
3. Elaboration d'un tarif de cubage
4. Détermination de strates homogènes
5. Evaluation de la biomasse de bois
6. Comparaison des différentes fréquences d'irrigation
7. Conclusions

V - AUTRES ESSAIS

1. Essai ligniculture intensive : Essences diverses
2. Essai hautes densités.

ANNEXES

DOCUMENTS CONSULTES

CALENDRIER DE LA MISSION

- 12 Février : . Arrivée à DAKAR
- . Ambassade de France : Visite à M. GUIDOT
- . Voyage sur PODOR
-
- 13 au 20 Février : Séjour à PODOR
- . Travail sur la station du projet N'GAOULE avec M. GUERIN, Chef de projet
- Visite générale de la station
 - Mensuration des placeaux de référence
 - Elaboration d'un tarif de cubage
 - Elaboration d'un échantillonnage stratifié.
- . Analyses statistiques correspondant au travail réalisé sur le terrain
- . Rencontre de M. Samba THIAM, Directeur du projet N'GAOULE et M. Abdoulrhamane TAMBA, Responsable de recherche DRPF.
-
- 21 Février : Voyage sur DAKAR.

RAPPORT DE MISSION

N'GAOULE

I - LE LIEU DE LA MISSION

Le projet N'GAOULE, lieu de la mission, est situé au nord du Sénégal, à proximité de PODOR, petite ville en bordure du fleuve Sénégal. (*cf. schéma 1*)

PODOR fait partie du secteur climatique sahélo-saharien qui se caractérise par :

- de faibles précipitations (moyenne historique : 300 mm/an ; moyenne des dix dernières années : 180 mm/an), concentrées sur quatre mois de l'années (juillet à octobre),
- des températures élevées toute l'année,
- une évaporation potentielle très forte (3.600 mm/an).

Un diagramme ombrothermique est donné, utilisant les données de la station météorologique de PODOR, pour l'année 1988. (*cf. schéma 2*)

.../...

II - LE CADRE DU PROJET N'GAOULE

Le projet N'GAOULE s'inscrit (tout comme les projets POLES VERTS ou GONAKIE) dans la suite logique des recherches effectuées sur la station de NIANGA (*cf. schéma 3*).

Rappelons que cette station avait comme objectif d'utiliser, près de PODOR, l'eau du fleuve Sénégal pour mettre en place des plantations ligneuses irriguées.

Les principales recherches effectuées ont porté sur :

- . la conduite de l'irrigation (mode, fréquence, dose...),
- . la conduite des peuplements (écartement, fertilisation...),
- . l'amélioration du matériel végétal (essais provenance)
- . le comportement de différentes espèces ligneuses en zone irriguée...

A l'exception du dernier volet, les recherches ont porté essentiellement sur *Eucalyptus camaldulensis*.

Le projet N'GAOULE a comme objectif principal de développer à une plus grande échelle les résultats de recherche de la station de NIANGA afin d'obtenir une production ligneuse intensive.

.../...

III - PRESENTATION DE LA STATION

La station du projet N'GAOULE occupe une superficie de 53 ha.

Au vu des recherches menées à NIANGA, l'irrigation gravitaire à la rigole a été adoptée (moindre coût, simplicité...) : l'eau pompée dans le fleuve est acheminée dans un bassin de dissipation, puis dans un bassin de dérivation. L'eau est alors sélectivement dirigée dans l'une des deux branches du canal principal, puis dans des canaux secondaires (par des conduites en PVC) et, enfin, dans des raies d'irrigation (par des siphons en plastique) le long desquelles sont plantés les arbres. (cf. schéma 4)

Les essais mis en place (cf. schéma 5) développent de façon plus intensive ou complètent les réalisations de la station de NIANGA.

Concernant l'Eucalyptus camaldulensis, les essais portent sur l'étude :

- de la meilleure fréquence d'irrigation (4 jours/6 jours/8 jours),
- de la conduite d'un peuplement planté à haute densité (6.666 plants/ha),
- de la longueur de la raie d'irrigation (130 m à 400 m),
- d'une association agrosylvicole (Eucalyptus - Tomate).

D'autres essences ont été installées et permettent l'étude :

- de la régénération du Gonakié (= Acacia nilotica tomentosa) sous submersion contrôlée,
- de la production intensive d'essences diverses (Prosopis juliflora, Prosopis cineraria...).

.../...

IV - ESSAI FREQUENCE D'IRRIGATION1. Présentation

Mis en place au mois d'août 1988, cet essai a comme objectif d'évaluer la fréquence optimale d'irrigation pour une plantation d'Eucalyptus camaldulensis de 4.000 plants/ha (écartement entre les plants d'une même ligne = 1,25 m ; écartement entre les lignes = 2m).

Pour cela, trois fréquences d'irrigation sont testées : 4 jours, 6 jours, 8 jours.

D'une superficie de 5,4 ha, l'essai est subdivisé en trois parcelles : A_1 , A_2 , A_3 , de 1,8 ha.

A chaque parcelle est associée une fréquence d'irrigation (cf. tableau 1).

Tableau 1 : Correspondance entre les parcelles et les fréquences d'irrigation

Parcelle	Fréquence d'irrigation	Dose d'irrigation théorique
A_1	4 jours	2.000 mm/an = $\frac{2}{3}$ E.T.P.
A_2	6 jours	1.350 mm/an = $\frac{4}{9}$ E.T.P.
A_3	8 jours	1.000 mm/an = $\frac{1}{3}$ E.T.P.

Signalons que les parcelles ne sont pas homogènes. Les facteurs de variabilité susceptibles d'influencer la croissance des arbres à l'intérieur d'une parcelle sont a priori les suivants :

- . la provenance : trois provenances ont été plantées
1492 (N'Gaoulé)
1492 (Pôles Verts)
Katherine (N'Gaoulé)
- . le sol : plutôt sableux au nord des parcelles, il tend à être argileux au sud des parcelles.

.../...

Des placeaux de référence (*cf. schéma 6*) ont été installés dans les parcelles afin de couvrir au mieux les différentes sources de variabilité. Ces placeaux permettent de suivre la croissance des arbres puisque sont mesurées à différentes périodes (3 mois, 6 mois, 12 mois...) la hauteur et la circonférence des arbres.

Le tableau de l'*annexe 1* restitue les mesures effectuées sur 12 placeaux de référence.

2. Objectifs de la mission d'appui

Cette mission d'appui a été principalement suscitée par cet essai.

Les objectifs de cette mission sont les suivants :

- évaluer la production de bois (m^3/ha) pour chaque fréquence d'irrigation,
- comparer les différentes fréquences d'irrigation.

Afin d'accéder à cette information, il a été nécessaire d'effectuer au préalable :

- un tarif de cubage
- une détermination de strates homogènes.

3. Elaboration d'un tarif de cubage

Un tarif de cubage permet d'estimer le volume d'un arbre en fonction de mesures non destructives (hauteur, circonférence à 1,30m...).

Pour établir le tarif du peuplement d'*Eucalyptus camaldulensis* de l'essai fréquence d'irrigation, le protocole du *schéma 7* a été suivi.

Ce protocole permet d'obtenir, pour chacun des 31 *Eucalyptus camaldulensis* étudiés, leur circonférence à 1,30 m (C130), hauteur (H) et volume exact (V).

Les tarifs de cubage à une ou deux entrées (C130, H) issus de régressions (linéaires ou quadratiques / simples ou multiples) sont consignés dans le *tableau 2*.

.../...

Tableau 2 : Résultats des tarifs de cubage
(Eucalyptus camaldulensis - provenance 1492 - 30 mois -
6 cm ≤ C130 ≤ 32 cm)

V = Volume exact H = Hauteur
C = C130 = Circonférence à 1,30 m
a, b, d, e : coefficients de régression
R² : coefficient de détermination.

TARIF DE CUBAGE		R ²
Tarif à 1 entrée	$V = a + bC$	92,5 %
	$V = a + bC^2$	93,9 %
	$V = a + bC + dC^2$	94,1 %
	$V = a + bH$	84,3 %
	$V = a + bH^2$	86,7 %
	$V = a + bH + dH^2$	86,7 %
Tarif à 2 entrées	$V = a + bH + dC + eC^2$	97,4 %
	$V = a + bH + dC^2H$	97,6 %

Un bon compromis entre la simplicité et la précision demandée à un tarif de cubage est obtenu avec le tarif suivant :

$$V = a + bC + dC^2$$

La mesure de la circonférence à 1,30 m suffit pour avoir une bonne estimation du volume de l'arbre.

Mesurer, en plus, la hauteur demanderait un travail trop important pour le gain de précision obtenu.

Pour la suite de l'étude, le tarif de cubage appliqué sera donc :

$$V = - 3,372 + 0,337 C + 0,022 C^2$$

$$R^2 = 94,1 \% \quad (V \text{ en l} ; C \text{ en cm})$$

Remarque : On aurait pu utiliser le tarif de cubage élaboré à NIANGA sur Eucalyptus camaldulensis et proposé par BONENFANT, mais on aurait fortement surestimé le volume des gros arbres ; d'où la nécessité d'élaborer notre propre tarif.

.../...

4. Détermination de strates homogènes

Afin d'évaluer avec une bonne précision la production de bois dans chaque parcelle, il est nécessaire de déterminer des zones homogènes à l'intérieur de chacune des parcelles.

Les sources de variabilité de la production de bois sont les suivantes :

a) la nature du sol

Des analyses de sol ont été effectuées en 1988 et 1989 sur la station du projet. Leur localisation et leur analyse granulométrique sont restituées au *schéma 8*. Complétée par une approche du terrain, cette information permet de localiser différentes zones homogènes quant à la nature du sol (*cf. schéma 9*).

b) la provenance

Une seule provenance devait être plantée au départ sur l'essai fréquence d'irrigation. Par manque de graines, trois provenances ont été semées. Leur répartition est restituée au *schéma 9*.

c) l'effet de bordure

Sur le terrain, on observe très nettement un effet de bordure : les arbres à proximité des canaux (principaux ou secondaires) ont une croissance beaucoup plus importante que les arbres situés à l'intérieur des parcelles.

En mesurant la circonférence des arbres à différentes distances de la bordure, on s'aperçoit que cet effet est perceptible jusqu'à cinq mètres de la bordure (*cf. schéma 10*). Cette distance correspond à :

- 3 raies (parallèles au canal principal)
- 4 lignes d'arbres (parallèles aux canaux secondaires).

L'effet de bordure concerne donc, pour chaque parcelle, 1.136 plants, ce qui correspond à 16 % des plants d'une parcelle.

Remarque : L'effet de bordure est globalement négatif pour la parcelle A3 (8 jours d'irrigation) : une seule bordure sur quatre se trouve le long d'un canal.

d) pente / contre-pente

Les raies d'irrigation s'appuient en principe sur les courbes de niveau. Mais il se peut que ces raies coupent des courbes de niveau. On observe alors une pente le long de la raie. L'eau s'écoulant dans cette raie ne se répartit pas de façon homogène et l'on observe alors des zones inondées (en bas de pente) et des zones recevant peu d'eau (haut de pente). Ces zones sont repérées sur le *schéma 11*.

e) récapitulatif

La combinaison des différentes sources d'hétérogénéité (sol, provenance, effet de bordure, pente) a permis de déterminer des strates homogènes à l'intérieur de chaque parcelle de l'essai fréquence d'irrigation. Ces strates sont définies au *schéma 12*.

5. Evaluation de la biomasse de bois

Pour évaluer la biomasse de bois (en m^3/ha) dans chaque parcelle, nous avons effectué un échantillonnage stratifié, les strates ayant été définies précédemment en tenant compte des différentes sources de variabilité : sol, provenance, pente, bordure.

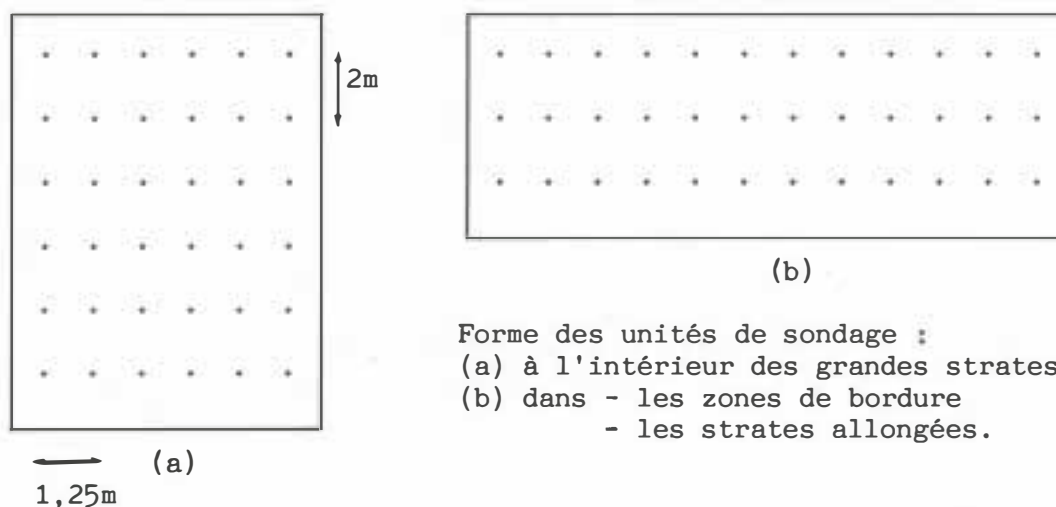
Les arbres coupés étant commercialisés en tant que
 . charbon de bois (après carbonisation),
 . perches (arbres ayant une bonne conformation),
 il est intéressant de connaître, outre la production totale de bois, le pourcentage de perches et la production de perches (en m^3/ha).

a) Taille des unités de sondage

A partir de l'information recueillie sur certains placeaux de référence (sur 100 arbres, recueil de la circonférence à 1,30 m et du devenir de l'arbre : perche / charbon de bois), l'unité de sondage choisie (*cf. schéma 13*) a les caractéristiques suivantes :

- . superficie : 90 m^2
- . nombre théorique d'arbres (en l'absence de mortalité) : 36.

La forme de l'unité de sondage dépend de sa situation dans les strates :



b) Mesures effectuées

Sur tous les arbres de l'unité de sondage est noté le devenir des arbres :

- charbon de bois (B)
- perches (*)

Sur les arbres portés par les deux diagonales de l'unité de sondage est notée la circonférence à 1,30 m. Douze arbres sont concernés par cette mesure.

Un exemple de fiches de mesure est donné au *schéma 14*.

c) Caractéristiques de la population et de l'échantillon

Nous nous intéressons à l'évaluation de la biomasse de bois dans chaque parcelle.

- La population est définie par une parcelle de 1,8 ha recevant une fréquence d'irrigation. Elle est constituée de 200 unités ($N = 200$) de 90 m².

- Le taux de sondage global (f) a été choisi a priori égal à 10 % ($f = 10\%$). Une vingtaine d'unités de sondage ($n = f \times N = 20$) est donc tirée aléatoirement dans chaque parcelle.

Exemple : Parcelle A1

Population = parcelle A1
 $N = 200$

$$f = \frac{n}{N}$$

Echantillon
 $n = 20$

- Pour améliorer la précision de l'échantillonnage, nous avons découpé la population en strates homogènes (cf. 4.e)

Nous effectuons un échantillonnage stratifié : les strates (h) sont sondées indépendamment avec un taux de sondage (f_h) proche du taux de sondage global.

Population = parcelle
 $N = 200$

découpage en strates

strate 1

$$N_1 = 19$$

$$n_1 = 2$$

$$f_1$$

strate 2

$$N_2 = 19$$

$$n_2 = 2$$

$$f_2$$

*

*

*

strate bordure

$$N_b = 32$$

$$n_b = 3$$

$$f_{\text{bordure}}$$

$$\sum_{h \in A1} N_h = N$$

$$\sum_{h \in A1} n_h = n$$

.../...

Les unités de sondage sont répertoriées au *schéma 15*.

Remarque : Si, théoriquement, une seule unité de sondage doit être tirée dans une strate donnée, en pratique, deux unités le sont, afin d'avoir une information sur la variabilité des résultats dans cette strate.

d) Résultats

Les résultats sont consignés dans des tableaux en *annexes 3, 4 et 5*.

Ces tableaux sont expliqués en *annexe 2* et restituent :

- une information brute (unités de sondage),
- un résumé de l'information pour chaque strate (h),

et, en fin de compte, un résumé de l'information pour l'ensemble d'une parcelle, résumé que nous restituons ci-dessous (l'intervalle de confiance est donné pour un risque $\alpha = 10 \%$).

Parcelle A1 : fréquence d'irrigation : 4 jours

Nombre de perches/ha	:	1870	+	230
Volume total (m ³ /ha)	:	46	+	6
Volume perches (m ³ /ha)	:	29	+	5

Parcelle A2 : fréquence d'irrigation : 6 jours

Nombre de perches/ha	:	2020	+	180
Volume total (m ³ /ha)	:	41	+	4
Volume perches (m ³ /ha)	:	26	+	4

Parcelle A3 : fréquence d'irrigation : 8 jours

Nombre de perches/ha	:	880	+	240
Volume total (m ³ /ha)	:	22	+	2,5
Volume perches (m ³ /ha)	:	7	+	2,5

.../...

e) Conclusions

30 mois après le début de la plantation,

La parcelle A1, irriguée tous les quatre jours, a produit une biomasse de tiges égale à $46 (+ 6) \text{ m}^3/\text{ha}$. Ramené à l'année, cela équivaut à une production de $18,4 (+ 2,4) \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$.

Au vu de la conformation des tiges, une petite moitié de cette biomasse est destinée à être vendue comme perches (volume moyen d'une perche : 15,5 litres). L'autre moitié est destinée à être vendue comme charbon de bois après carbonisation.

La parcelle A2, irriguée tous les six jours, a produit une biomasse de tiges égale à $41 (+ 4) \text{ m}^3/\text{ha}$. Ceci équivaut à une production de $16,4 (+ 1,6) \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$.

Dans des proportions équivalentes, cette biomasse est destinée à être vendue, soit comme perches (volume moyen d'une perche : 13 litres), soit comme charbon de bois.

La parcelle A3, irriguée tous les huit jours, a produit une biomasse de tiges égale à $22 (+ 2,5) \text{ m}^3/\text{ha}$. Ceci équivaut à une production de $8,8 (+ 1) \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$. $22 (+ 6) \%$ de cette biomasse est destinée à être vendue comme perches (volume moyen d'une perche : 8 litres) ; la plus grande partie - $78 (+ 6) \%$ - le sera comme charbon de bois.

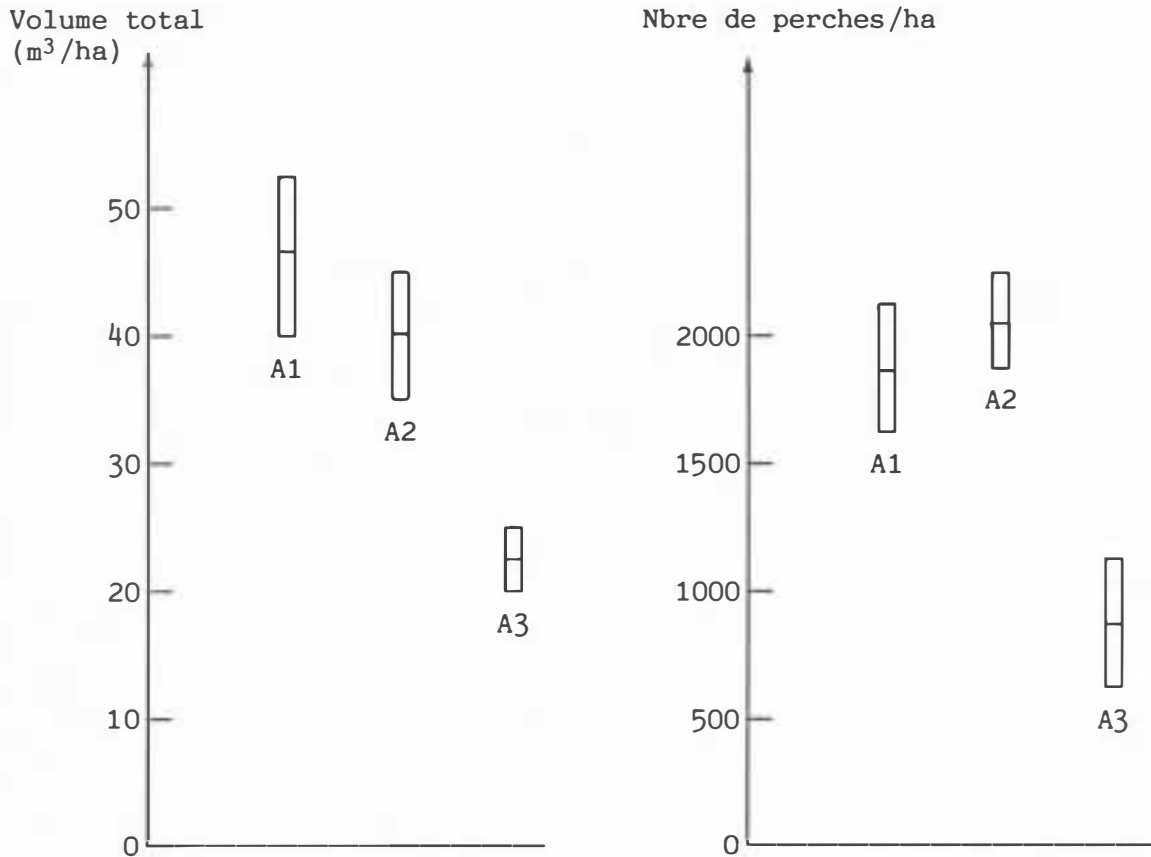
6. Comparaison des différentes fréquences d'irrigation

a) Comparaison globale

Les résultats énoncés au paragraphe 5 ont été donnés pour chaque parcelle (recevant chacune une fréquence d'irrigation spécifique) sans objectif de comparaison. Il peut être intéressant de voir s'il existe des différences significatives entre les fréquences d'irrigation dans une optique économique.

.../...

Reprenons alors ces résultats, en les présentant différemment :



Il apparaît que la parcelle A3, irriguée tous les huit jours, se distingue nettement des deux autres parcelles A1 et A2, irriguées respectivement tous les quatre et six jours. La parcelle A3 est peu performante. Irriguer tous les huit jours revient, dans cette région, à apporter aux plants 1/3 de l'ETP.

Par contre, les parcelles A1 et A2 ont des résultats assez comparables. Cette conclusion peut être mise en correspondance avec la remarque de P. THALER dans son rapport d'activité (p. 20) :

"Bilan des neuf premiers mois : les fréquences d'irrigation ont été respectées. La parcelle 1 a globalement reçu les quantités d'eau fixées, mais les parcelles 3, et surtout 2, ont été trop irriguées. C'est pourquoi les résultats risquent de ne pas être significativement différents entre les parcelles 1 et 2, cette dernière (dont les raies débordaient fréquemment) ayant reçu environ 90 % des quantités d'eau de la première (à la place des 66 % prévus)."

.../...

b) Comparaison plus fine

Les résultats énoncés précédemment peuvent être affinés en comparant la biomasse produite sur les différentes parcelles, dans des conditions comparables.

On cherchera à comparer des strates possédant les mêmes caractéristiques concernant les facteurs de variabilité : provenance, sol et pente.

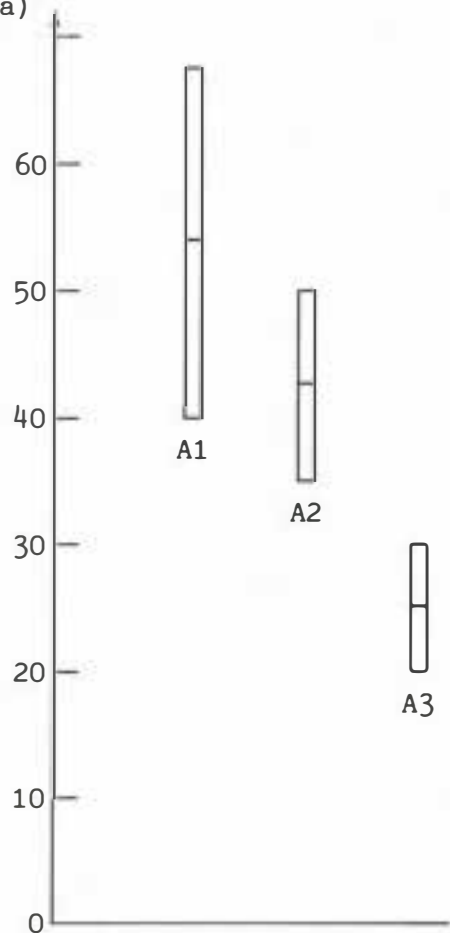
En s'aidant du *schéma 12*, on s'aperçoit qu'il est possible de comparer, en même temps, les trois fréquences d'irrigation, à partir des strates suivantes (on s'intéresse ici au volume total en m³/ha) :

Caractéristiques des strates	Parcelle A3	Parcelle A2	Parcelle A1
Provenance : 1492 N'GAOULE Sol : SA/LA Pente : =	Strate 13 V= 26 m ³ /ha + 4 m ³ /ha	Strate 9 V= 43 m ³ /ha + 7 m ³ /ha	Strate 5 V= 53 m ³ /ha + 13 m ³ /ha
Provenance : 1492 N'GAOULE Sol : Couche d'argile Pente : =	Strate 14 V= 11 m ³ /ha + 7 m ³ /ha	Strate 10 V= 18 m ³ /ha + 0 m ³ /ha	Strate 6 V= 40 m ³ /ha + 6 m ³ /ha

Pour la même provenance (1492), et sur un sol SA/LA, les résultats sont identiques à ceux de l'analyse grossière : irriguer tous les huit jours implique des performances moins bonnes qu'irriguer tous les quatre ou six jours ; ces deux fréquences d'irrigation donnent des résultats comparables.

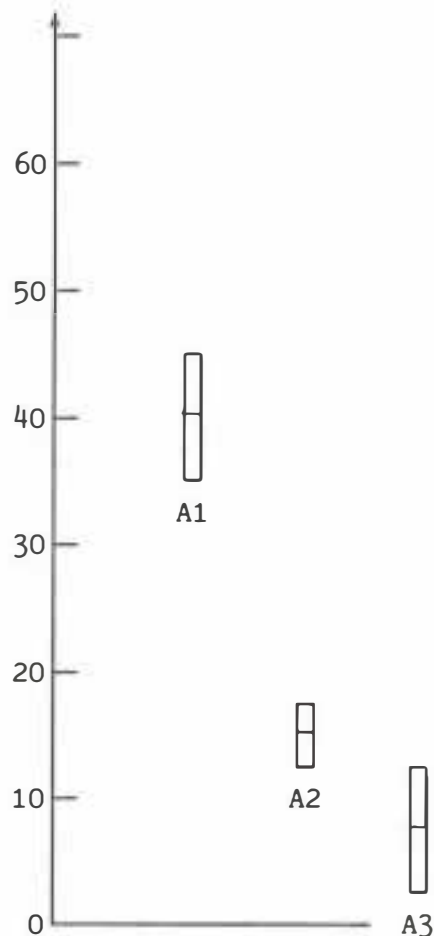
Par contre, en présence d'une couche d'argile, il est important d'irriguer tous les quatre jours, plutôt que tous les six jours.

.../...

Volume total
(m³/ha)

Provenance : 1492
Sol : SA/LA

Nbre de perches/ha



Provenance 1492
Sol : Couche d'argile

c) Amélioration : Tenir compte de la dose d'irrigation

Les parcelles n'ayant pas reçu les doses d'irrigation théoriques (cf. commentaire de P. THALER repris au paragraphe a)), il serait rigoureux de tenir aussi compte des doses d'irrigation reçues pour comparer les fréquences d'irrigation.

L'information n'étant pas disponible lors de la rédaction de ce rapport de mission (on aurait comparé, non plus des parcelles carrées de 36 arbres, mais des raies d'irrigation recevant une dose précise), nous n'avons pu mener cette étude.

.../...

7. Conclusions

Les résultats énoncés aux paragraphes 5 et 6 montrent qu'une irrigation effectuée tous les huit jours est insuffisante. Cette fréquence d'irrigation correspond à apporter 1/3 de l'E.T.P.

Quant à choisir entre irriguer tous les quatre ou six jours, cela dépend de la nature du sol ainsi que de l'étude économique ultérieure. (Quand on passe d'une fréquence d'irrigation de six à quatre jours, le coût de l'irrigation supplémentaire est-il compensé par la productivité supplémentaire ?)

Enfin, les chiffres de productivité ($m^3/ha/an$) énoncés précédemment auraient été meilleurs si la coupe des arbres n'avait pas été aussi tardive.

Au vu des courbes de croissance des *schémas 16 et 17* (issues des données dendrométriques du tableau de l'*annexe 1*), il semble en effet que, depuis l'âge de 24 mois, les arbres plantés à une densité de 4.000 plants/ha sont soumis à une forte compétition et n'ont pas une productivité optimale. Ce phénomène est perceptible plus tôt sur les placeaux où la fréquence d'irrigation est de huit jours.

.../...

V - AUTRES ESSAIS

Les questions concernant les essais autres que l'essai fréquence d'irrigation n'ont pu être résolues lors de la mission par manque de temps.

Nous apportons, dans ce rapport, quelques réponses.

1. Essai ligniculture intensive : essences diverses

Cet essai a comme objectif de diversifier les espèces utilisées en ligniculture intensive. Des espèces telles le *Prosopis juliflora*, le *Prosopis cineraria*, le *Gmelina arborea*..., ont été plantées en 1989, sur une superficie de 2 ha. Le problème posé concerne les modalités de mesure pour estimer avec une bonne précision la biomasse des arbres (en m^3/ha).

Cela passe par l'élaboration d'un tarif de cubage reliant des mesures non destructives (hauteur, diamètre) au volume de l'arbre.

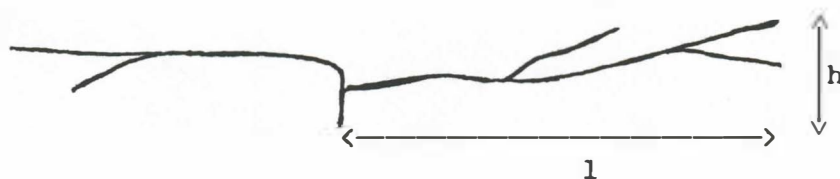
Pour des arbres multi-caules (à tiges multiples) et au port non dressé (arbres inclinés ou rampants), les mesures traditionnelles telles que celles réalisées sur l'*Eucalyptus camaldulensis* (hauteur verticale, circonférence à 1,30 m) ne sont pas adaptées.

Pour de tels arbres, il se pose les questions suivantes :

- * Combien de tiges faut-il mesurer ?
- * Quelle est la définition d'une tige ?
- * A quelle hauteur faut-il mesurer les circonférences ?

A partir d'un essai international effectué par O.F.I. (Oxford Forestry Institute) sur des espèces ligneuses originaires d'Amérique Centrale de zone sèche (*Prosopis juliflora*, *Parkinsonia aculeata*, *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*...), nous pouvons citer les recommandations préconisées par Janet STEWART pour estimer sur de tels arbres leur biomasse (biomasse aérienne sèche dans l'essai O.F.I.) :

- pour estimer la biomasse de bois sur des arbres inclinés, il est plus intéressant de mesurer la longueur (l) de la tige la plus grande que la hauteur verticale (h) de l'arbre :



.../...

- sur des arbres multi-caules, la hauteur préconisée pour mesurer le diamètre (ou la circonférence) des tiges est de 30 cm. Une tige étant définie comme ayant un diamètre à 30 cm du sol supérieur à 1 cm (ou circonférence supérieure à ≈ 3 cm), il est recommandé de mesurer toutes les tiges pour avoir une bonne estimation de la biomasse.
- le modèle de régression préconisé est un modèle de régression linéaire du type :

$$w = a + b \sum_n d_n^2 \quad \text{où : } a \text{ et } b \text{ représentent les coefficients de la régression. Ces coefficients dépendent de l'espèce.}$$

w représente la biomasse aérienne sèche.

d_n représente le diamètre à 30 cm du sol de la $n^{\text{ième}}$ tige.

Pour estimer la biomasse, il n'est donc pas utile de mesurer la longueur de la plus grande tige.

12 arbres-échantillons sont suffisants pour établir le modèle de régression.

A partir de ces recommandations, le protocole exposé au schéma 18 peut être effectué.

2. Essai haute densité

Cet essai a comme objectif d'étudier la biomasse et le type de produits d'une plantation d'Eucalyptus camaldulensis installée initialement à forte densité (6 666 plants/ha).

Planté en Avril 1989, cet essai a besoin de subir des éclaircies dont les modalités sont à déterminer.

Un essai CCT plots peut être envisagé, dont les modalités sont expliquées au schéma 19.

* * *

DOCUMENTS CONSULTES

• **Station de NIANGA**

M. BONENFANT (1987)
Plantations irriguées expérimentales
Station de NIANGA (Sénégal)
Rapport d'activités 86-87
C.T.F.T.

• **Projet POLES VERTS**

J.M. HARMAND (1988)
Création de POLES VERTS
Rapport technique
C.T.F.T.

• **Projet N'GAOULE**

J.P. GOUDET (1986)
Compte rendu de mission d'appui au projet de plantations irriguées
Projets NIANGA et N'GAOULE (Sénégal)
C.T.F.T.

J.P. GOUDET (1988)
Note sur les travaux poursuivis sur la station de N'GAOULE
C.T.F.T.

P. THALER (1989)
Projet pilote de plantations ligneuses irriguées de N'GAOULE
(Vallée du fleuve Sénégal)
C.T.F.T.

Rapport Annuel d'Activités (1989)
Projet plantations ligneuses irriguées dans la vallée du fleuve
Station pilote de N'GAOULE
Ministère de la Protection de la Nature - Sénégal -

• **Autres :**

J. STEWART (1990)
International trial of Central American dry zone hardwood species
Evaluation manual
O.F.I. (Oxford Forestry Institute)

S c h é m a s

Schéma 1 :

Localisation du projet N'GAOULE

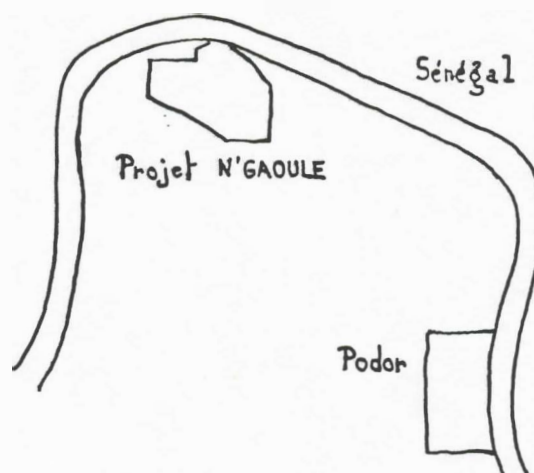
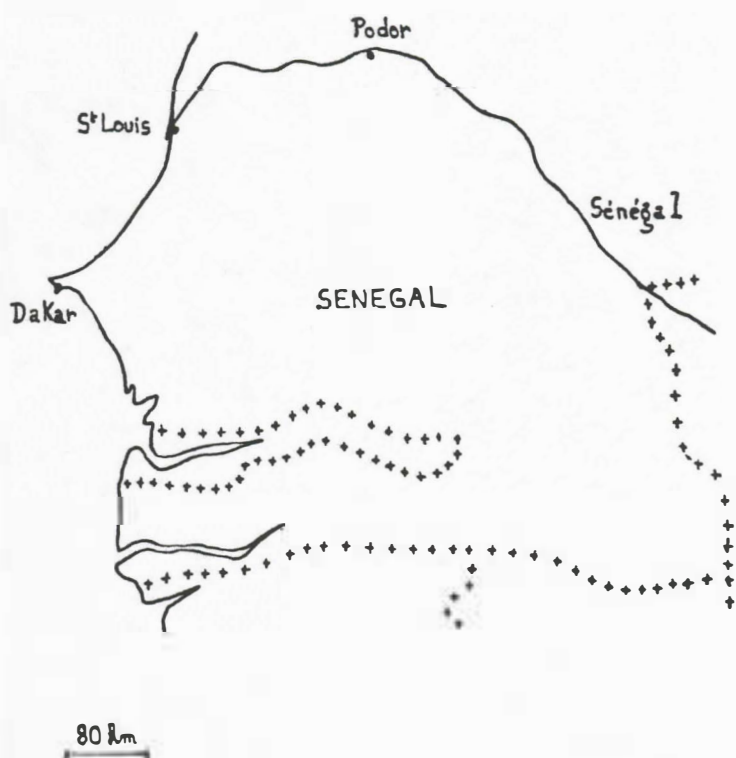
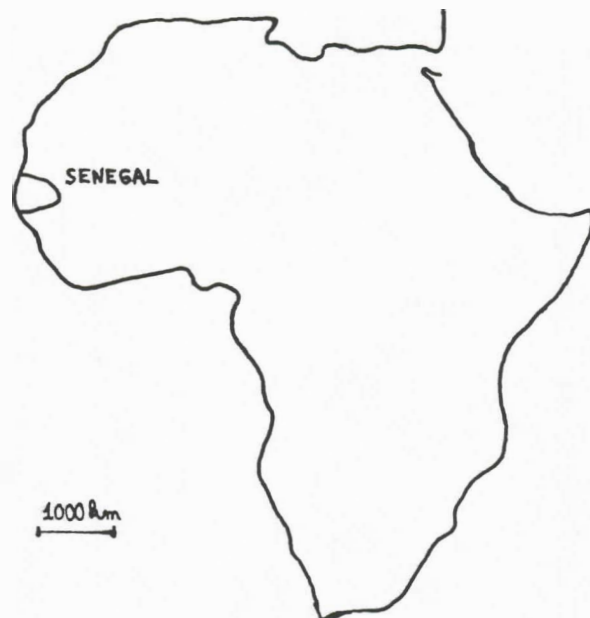
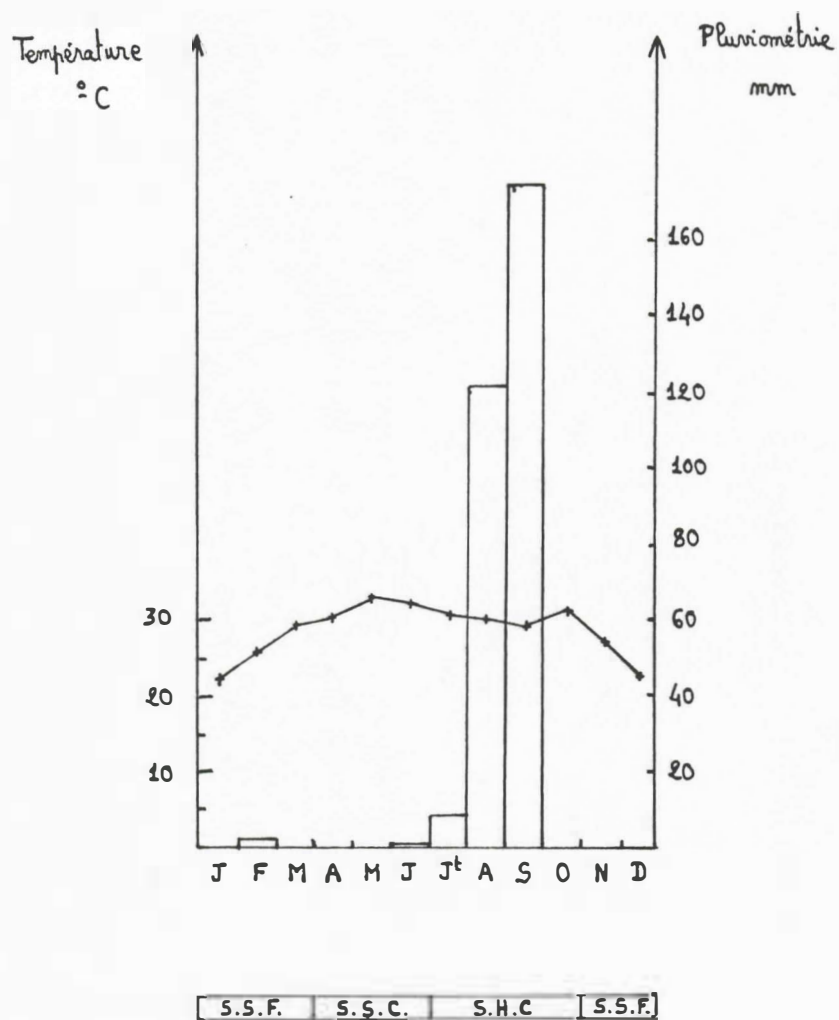


Schéma 2 :

Diagramme ombrothermique issu des données de la station météorologique de PODOR, en 1988.



S.S.F. Saison Sèche Froide

S.S.C. Saison Sèche Chaude

S.H.C. Saison Humide Chaude

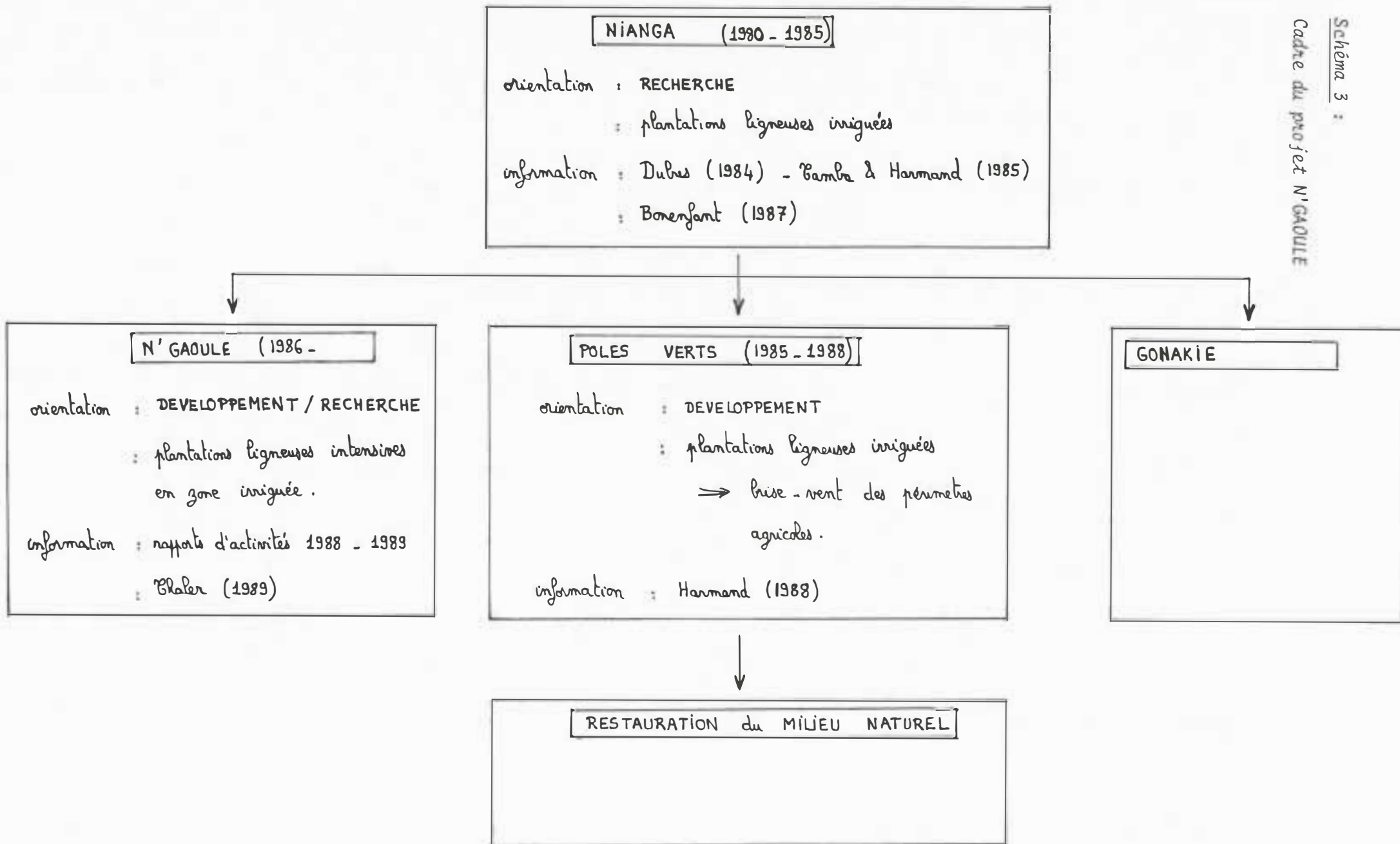
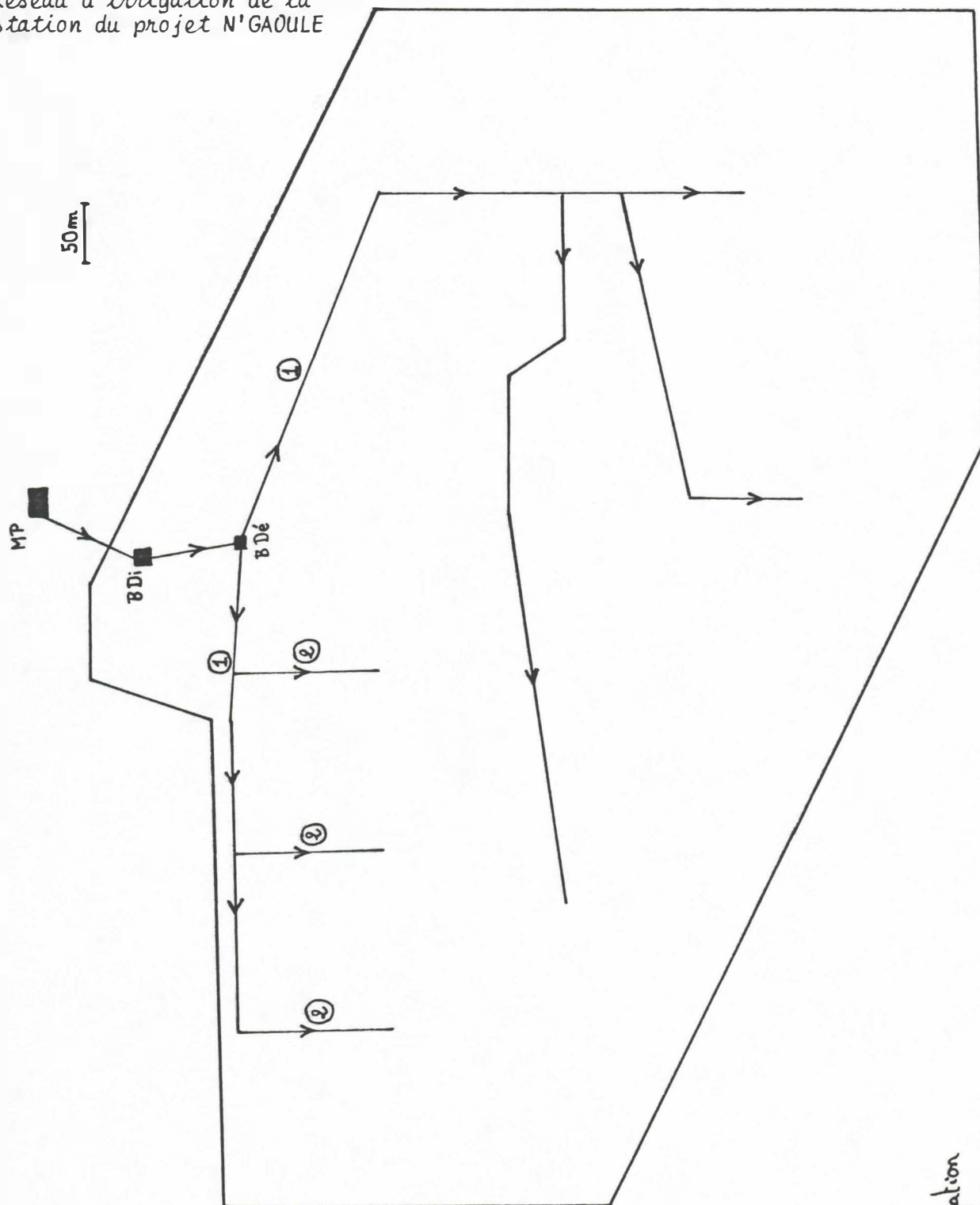


Schéma 4 :

Réseau d'irrigation de la station du projet N'GAOULE



- MP : Moto - pompe
- B Di : Bassin de dissipation
- B Dé : Bassin de dérivation
- ① : Canaux principaux
- ② : Canaux secondaires.

Parcelle de la station
du projet N'GAOULE

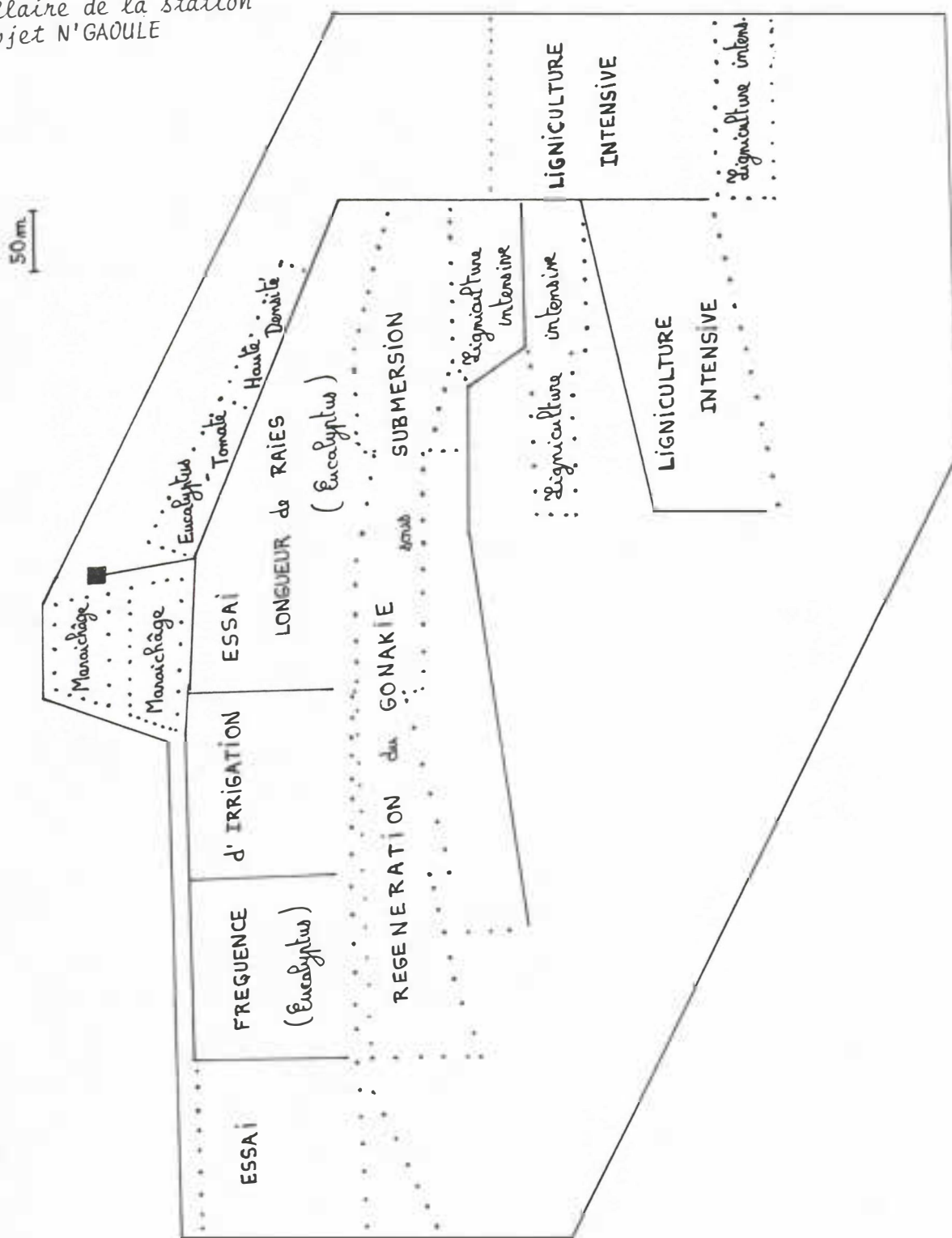
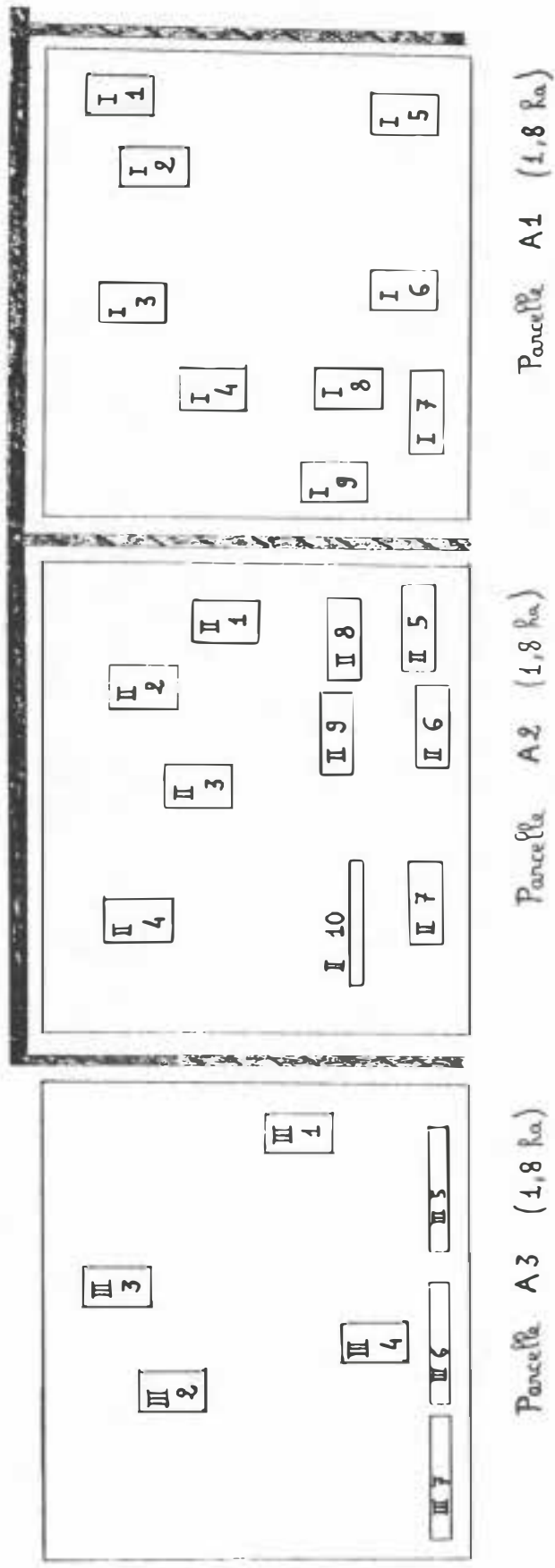
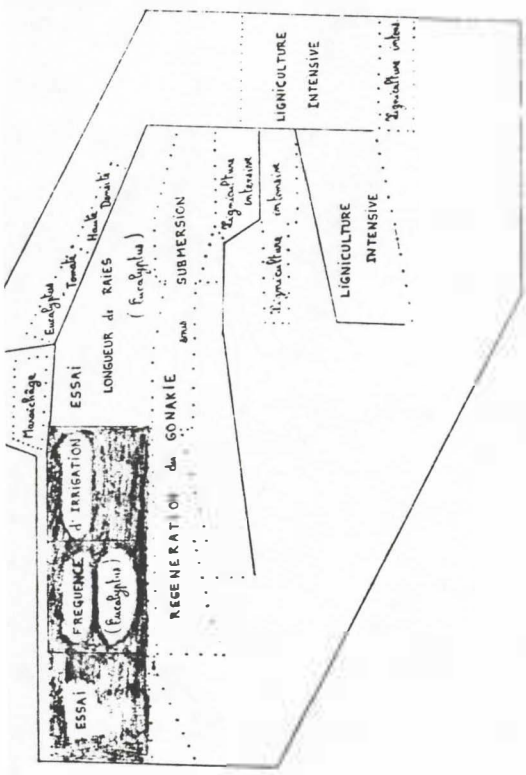


Schéma 6 :

Emplacement des placeaux de référence de l'essai Fréquence d'irrigation



4 jours

6 jours

8 jours

Fréquence d'irrigation

Schéma 1 :

Protocole suivi pour l'élaboration d'un tarif de cubage

1

Choix d'un échantillon de 31 *Eucalyptus camaldulensis*

- . Gamme de circonférence aussi large que possible
- . Forte représentation des arbres à grande circonférence

2

Identification et mesure de la circonférence à 1,30 m (C130) des arbres de l'échantillon

3

Coupe des arbres

4

Mesure de la hauteur (H) des arbres

5

Arbres découpés en rondins de 50 cm de long

6

Mesure de la hauteur d'eau déplacée (Heau) quand on plonge les rondins d'un arbre dans un fût de 200 l (de rayon $R = 28,2$ cm)

7

Obtention pour chaque arbre de l'échantillon de :

- . sa circonférence à 1,30 m (C130)
- . sa hauteur (H)
- . son volume = volume d'eau déplacé = $\pi R^2 \times (\text{Heau})$

Schéma 8 :

Localisation et résultats (granulométrie)
des analyses de sol de l'essai Fréquence d'irrigation

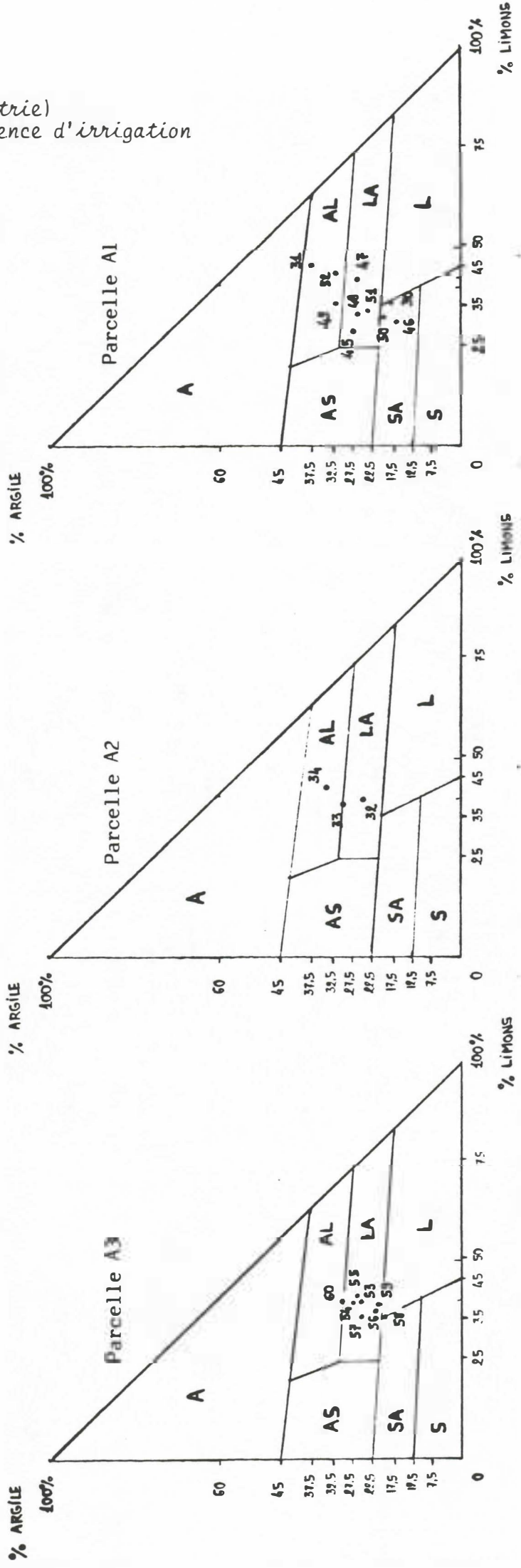
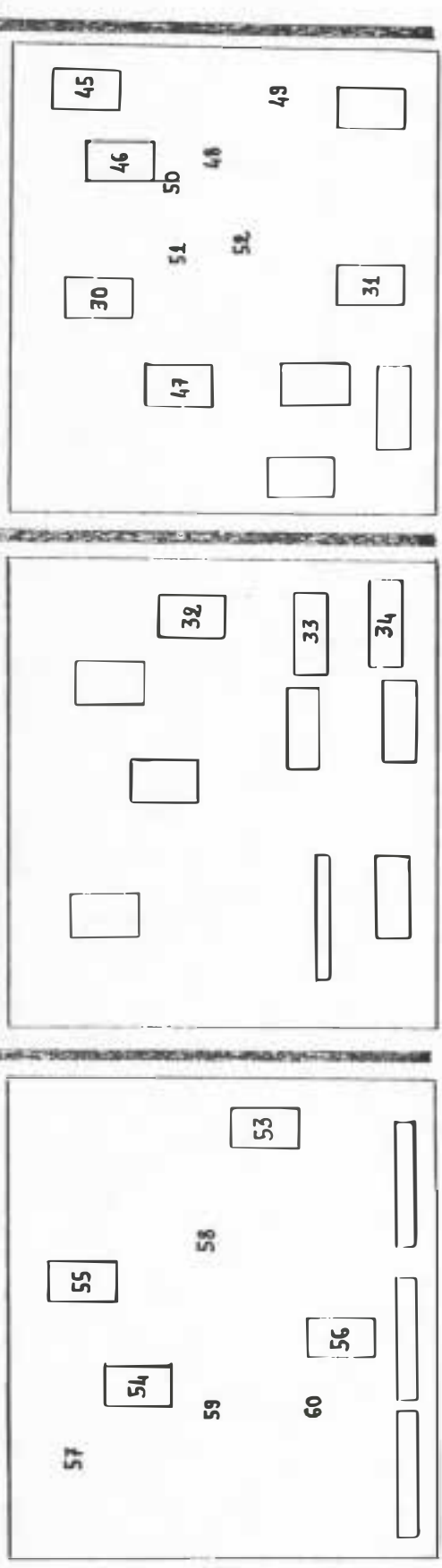


Schéma 9 :

Aide à la détermination de strates homogènes

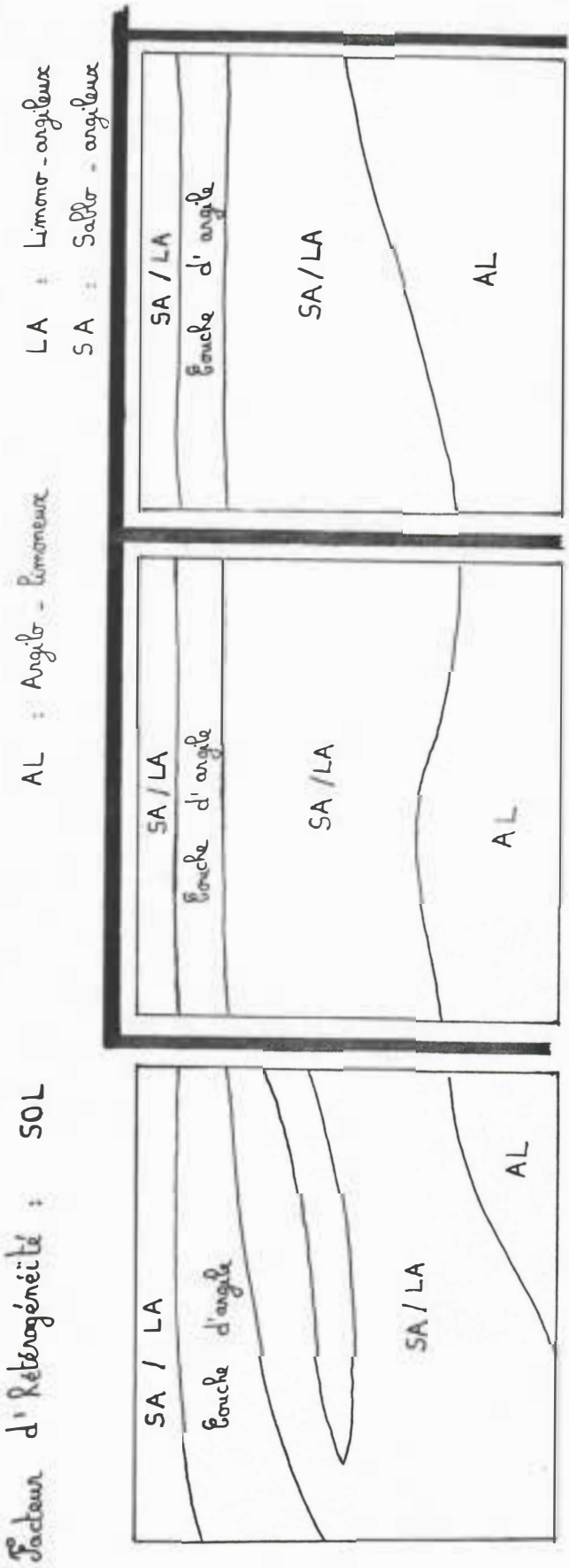
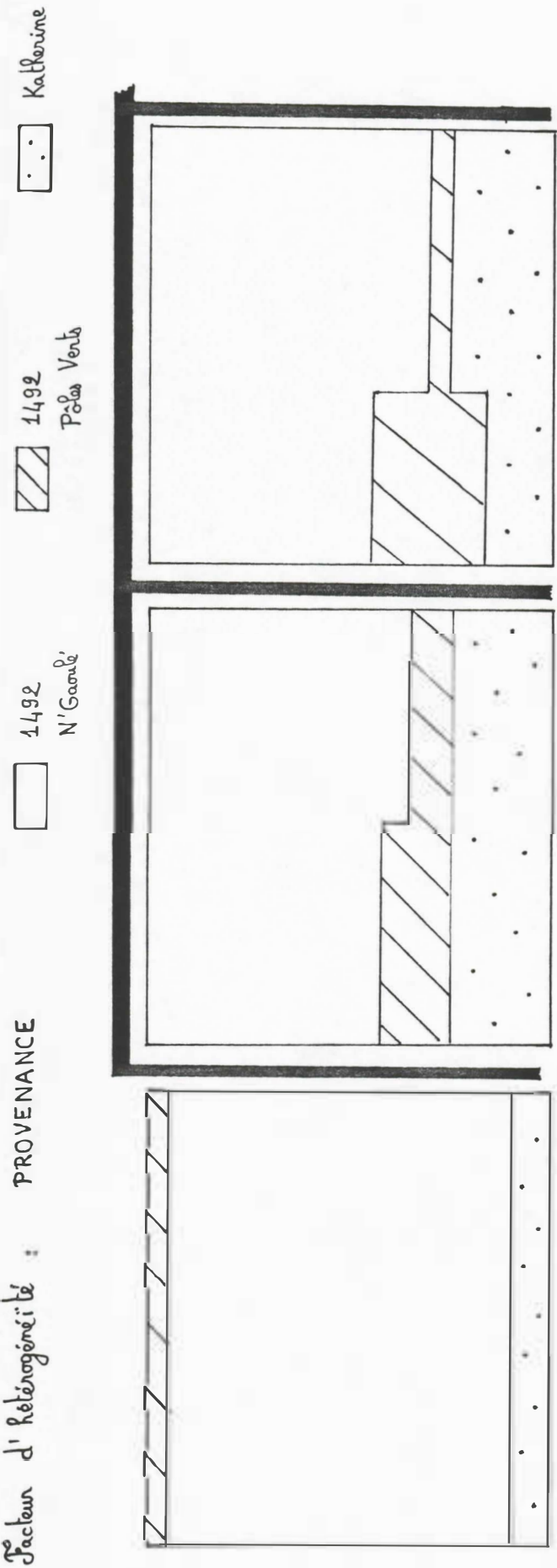


Schéma 10 :

Illustration de l'effet de bordure

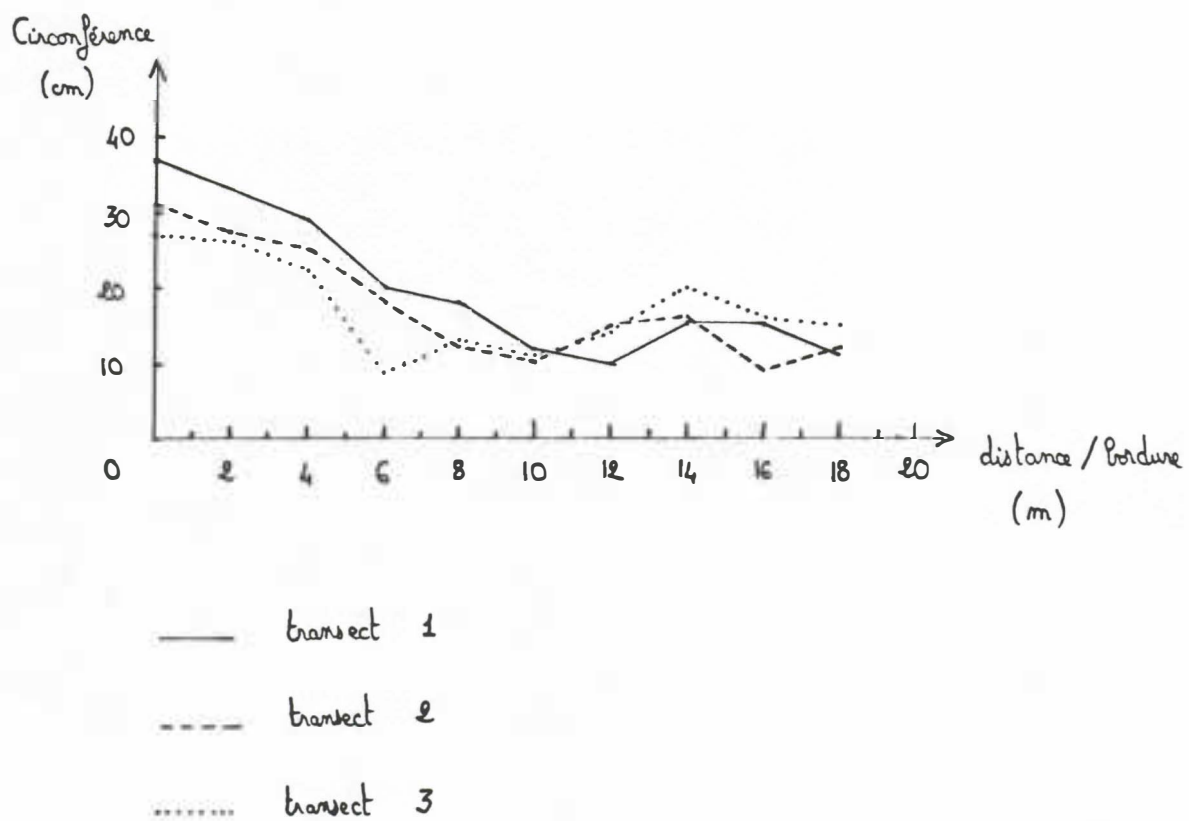
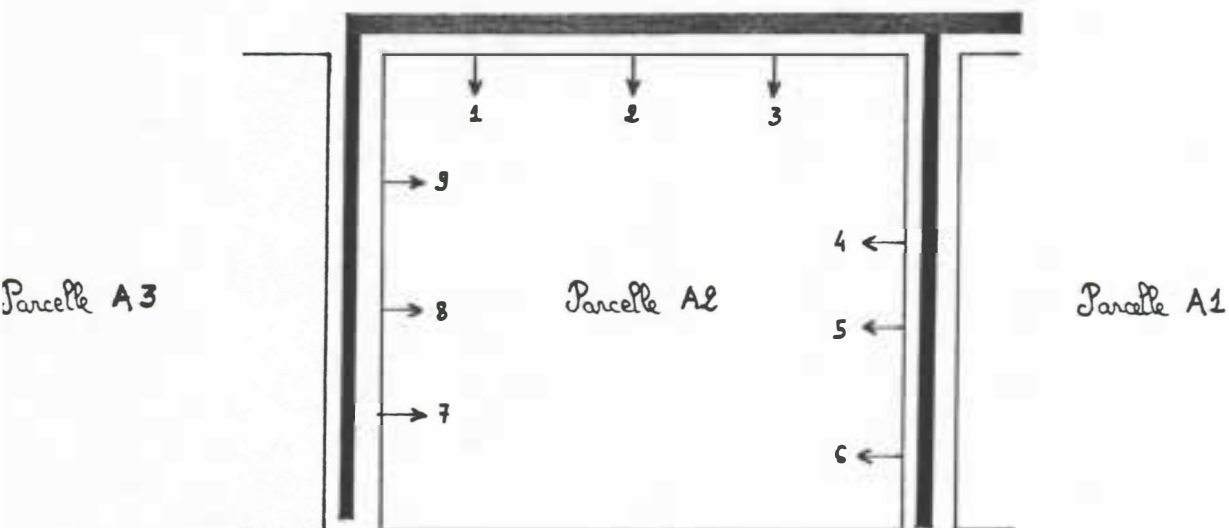


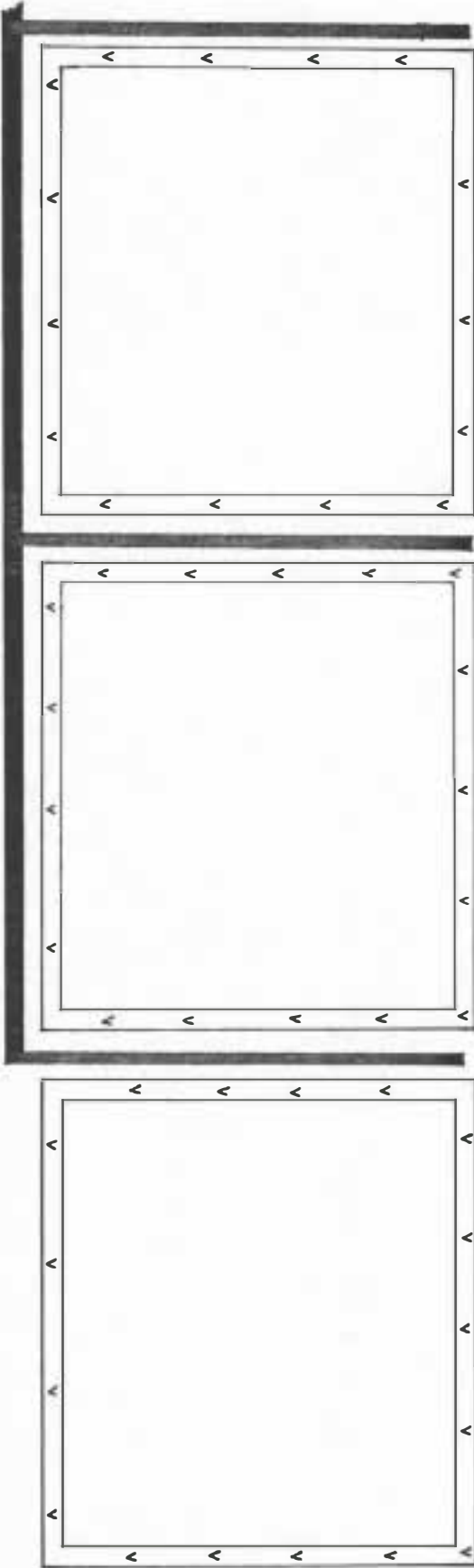
Schéma 11 :

Aide à la détermination de strates homogènes

Facteur d'homogénéité : BORDURE



Facteur d'homogénéité : BORDURE



Facteur d'homogénéité : PENTE



Haut de pente



Bas de pente

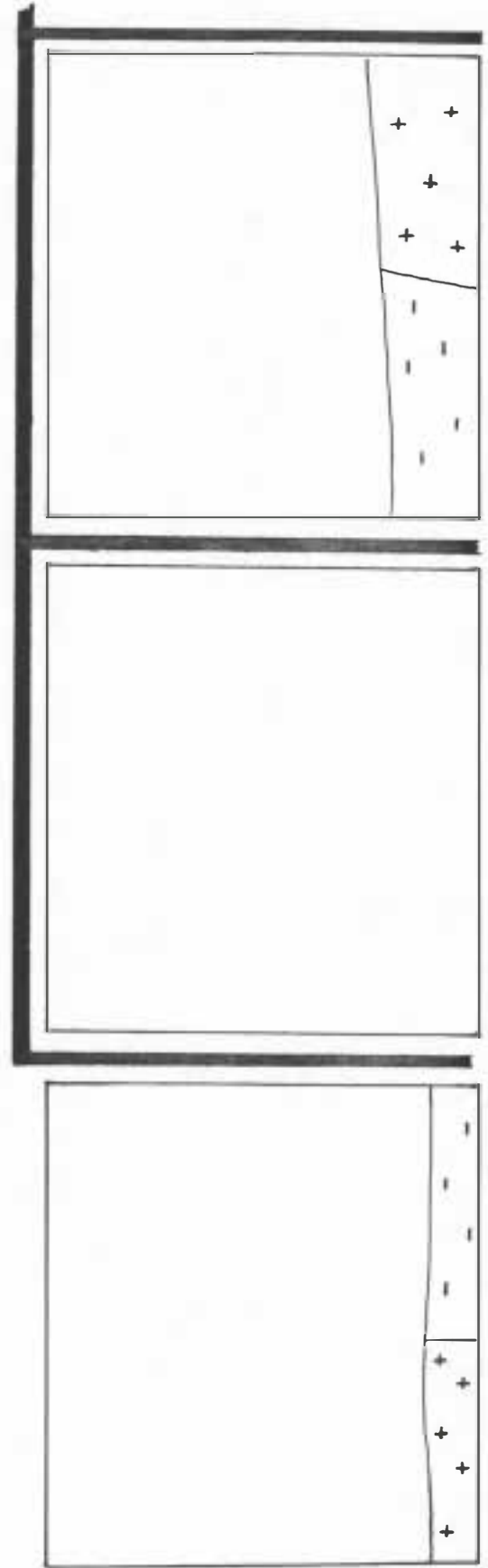
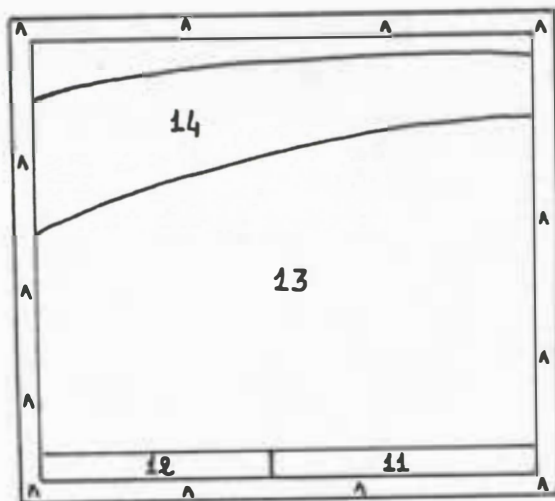
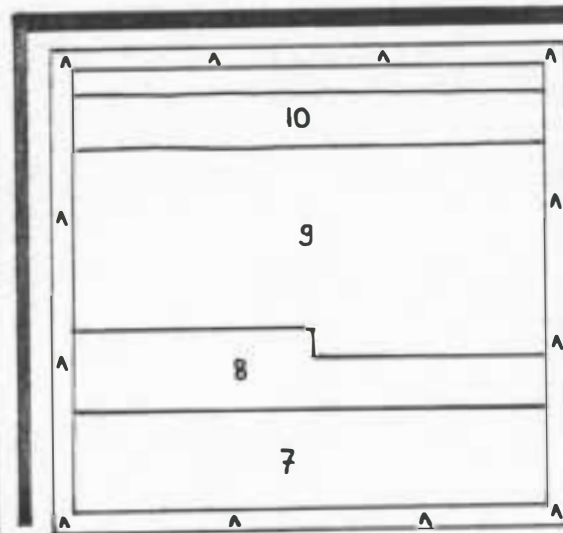


Schéma 12 :

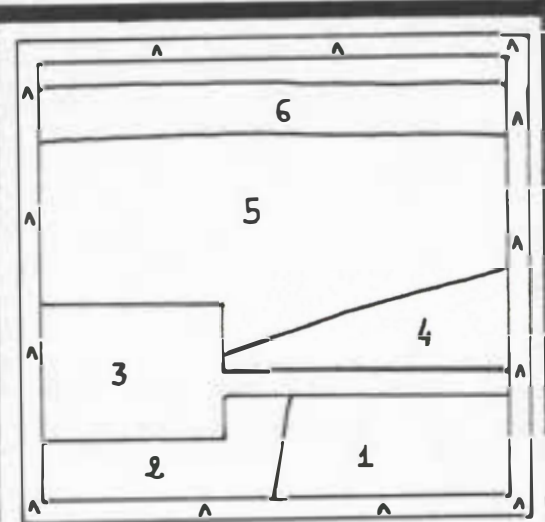
Localisation des strates homogènes



Parcelle A3



Parcelle A2



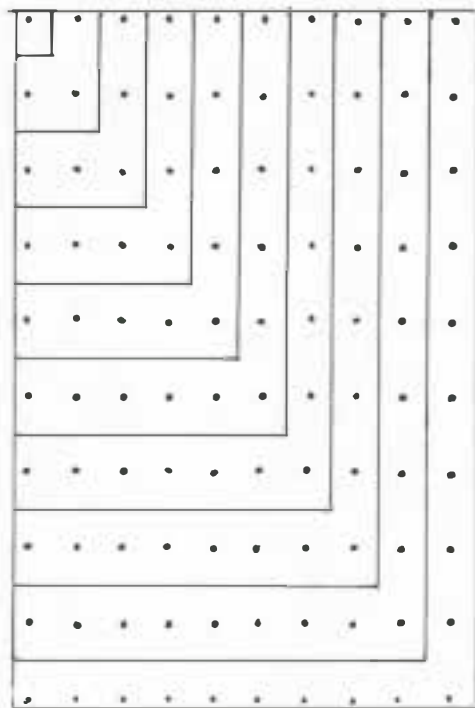
Parcelle A1

PARCELLE A3					PARCELLE A2					PARCELLE A1							
S11	S12	S13	S14	Bordure	S7	S8	S9	S10	Bordure	S1	S2	S3	S4	S5	S6	Bordure	STRATES
Katherine		1492 N'Gaoulé		^ ^ ^	Kath.	1492 P.Verts	1492 N'Gaoulé		^ ^ ^	Katherine		1492 P.Verts	1492 N'Gaoulé			^ ^ ^	PROVENANCE
AL	SA/LA	SA/LA	Couche d'Angile		AL	AL SA/LA	SA/LA	Couche d'angile		AL	AL	AL SA/LA	AL	SA/LA	Couche d'angile		SOL
-	+	=	=		=	=	=	=		=	+	-	=	=	=		=

Schéma 13 :

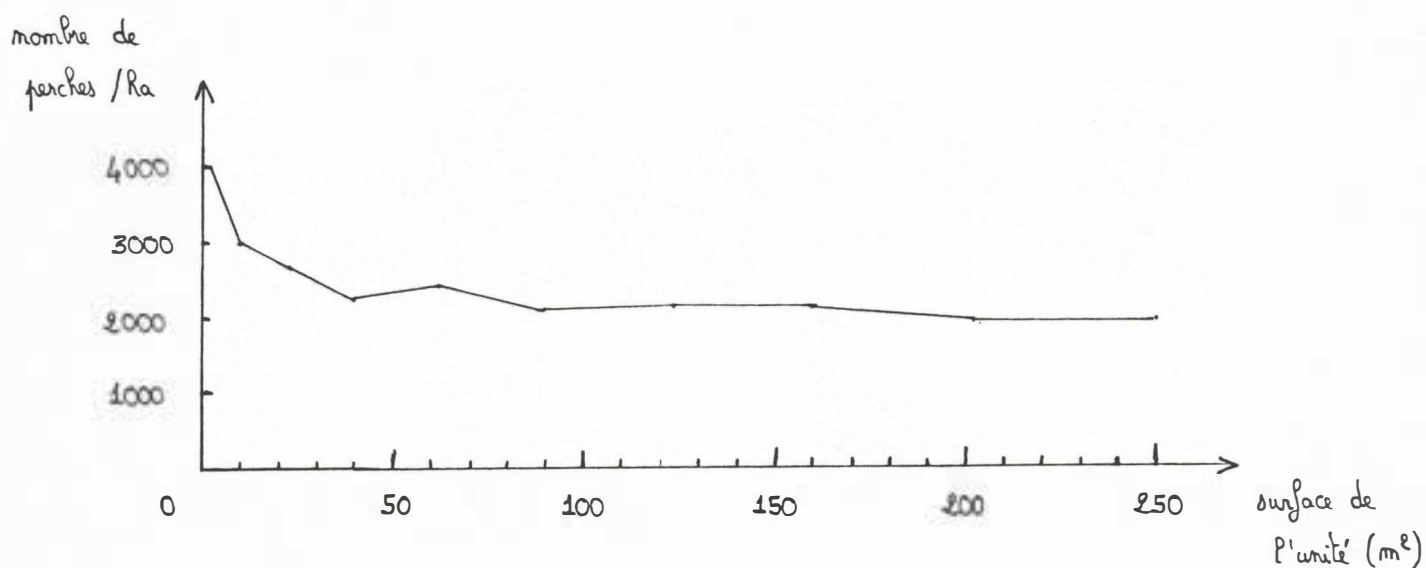
Aide à la détermination de la taille de l'unité de sondage

Critère : Nombre de perches/ha



Surface (m ²)	nombre de perches	nombre de perches/ha
2,5	1	4 000
10	3	3 000
22,5	6	2 667
40	9	2 250
62,5	15	2 400
90	19	2 111
122,5	26	2 122
160	34	2 125
202,5	39	1 926
250	48	1 920

Exemple : plateau de référence I.1.



A partir d'une surface de 100 m², la valeur du nombre de perches/ha reste stable. Recueillir une information supplémentaire n'apporte guère plus de précision.

Schéma 14 :

Exemples de fiches de mesure

Symboles utilisés - B : devenir de l'arbre = bois de feu
 * : " " = perche




Arbre mort

	Arbre 80			Arbre 75	
Raie 40	B 19	* *	*	B B	* 19
	*	B20 B 19	* B	* B7 B7	B
	*	B	*17	B7 B7 B7 B7	* B
	B	B	B7 B7	*25	B
	*	*20	*	*	B12 B
Raie 45	B13 *21	*	B	*	B
					B23

Parcelle : A1

Strate : S3

Unité de sondage : ⑨

Arbre 98					Arbre 87						
* 39	*	*	*	* 33	B	B	*	B 31	*	*	B
*	* 25	*	B 23	*	B 19	*	* 38	*	B 21	*	* 35
B		B 29	*	*	B	* 24	B	*	B	* 26	*

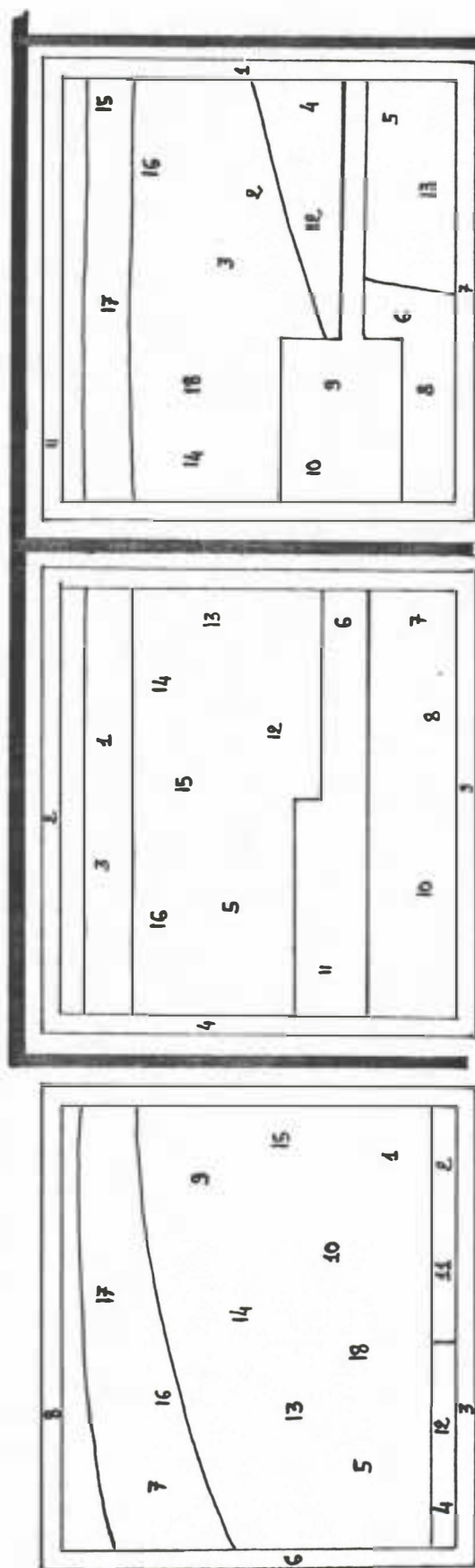
Parcelle : A1

Strate : Bordure

Unité de sondage : ⑪

Schéma 15 :

Localisation des unités de sondage



Parcelle A1

Parcelle A2

Parcelle A3

Schéma 16 :

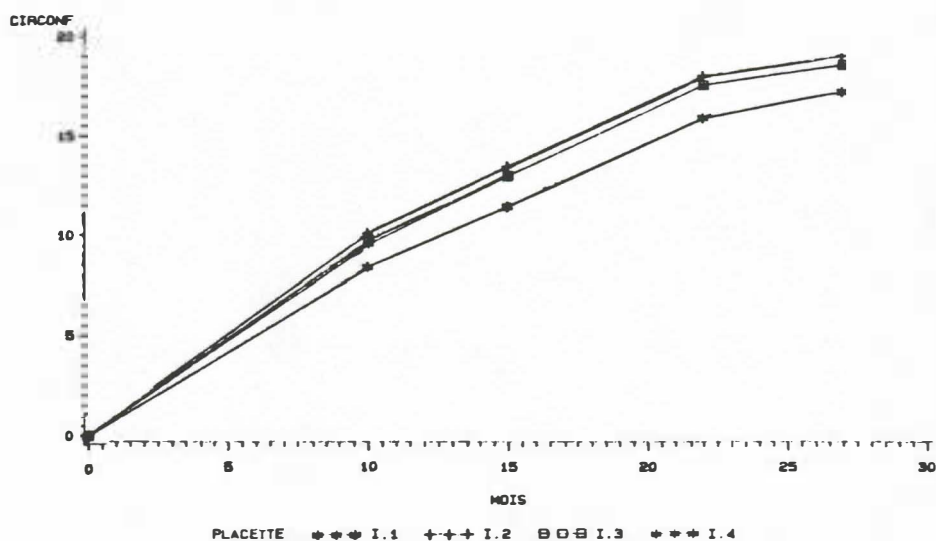
Aperçu de la croissance

Critère : Circonférence moyenne

FREQUENCE D'IRRIGATION : 4 JOURS

EUCALYPTUS CAMALDULENSIS

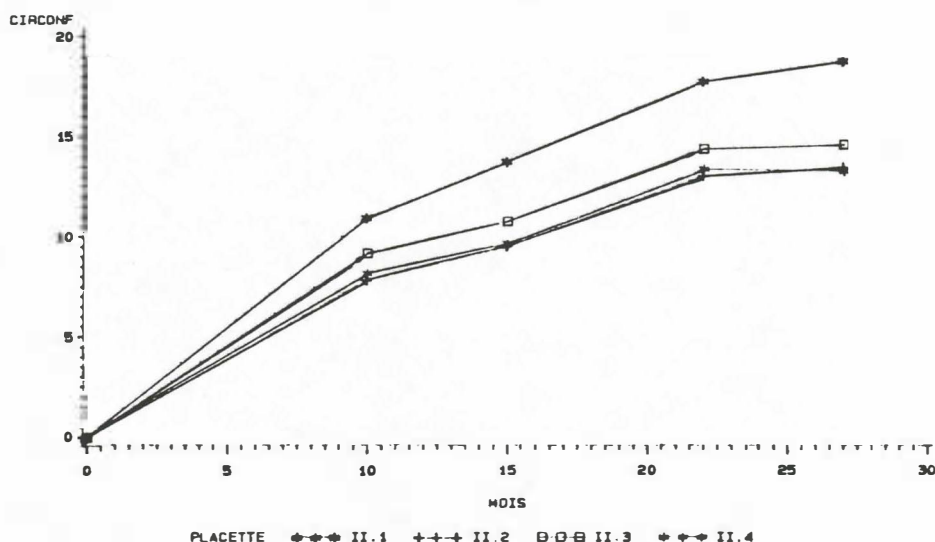
CRITERE : CIRCONFERENCE A 1.30 ■



FREQUENCE D'IRRIGATION : 6 JOURS

EUCALYPTUS CAMALDULENSIS

CRITERE : CIRCONFERENCE A 1.30 ■



FREQUENCE D'IRRIGATION : 8 JOURS

EUCALYPTUS CAMALDULENSIS

CRITERE : CIRCONFERENCE A 1.30 ■

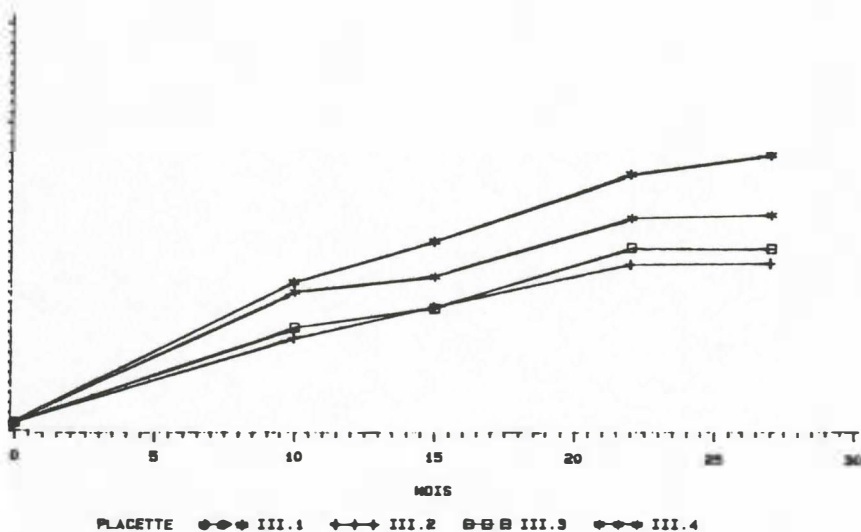


Schéma 17 :

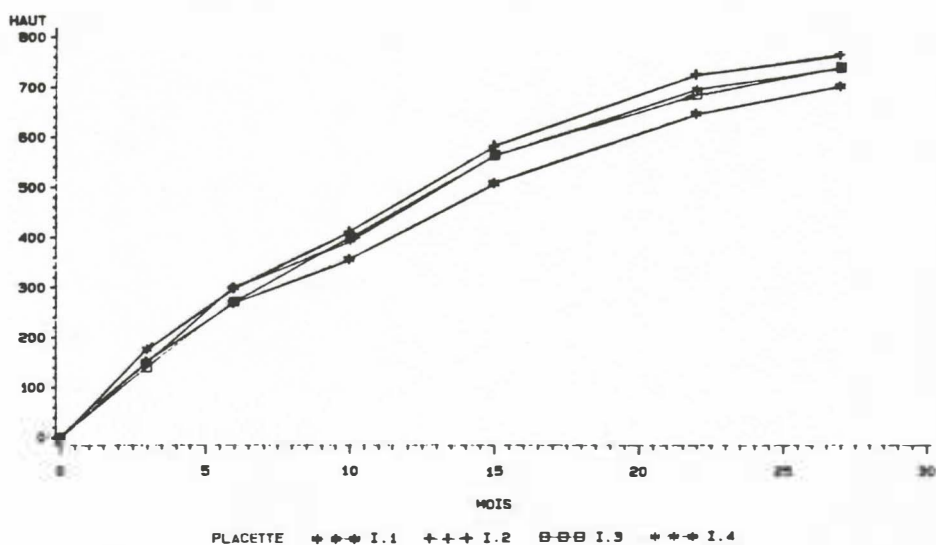
Aperçu de la croissance
des arbres

Critère : Hauteur moyenne

FREQUENCE D'IRRIGATION : 4 JOURS

EUCALYPTUS CAMALDULENSIS

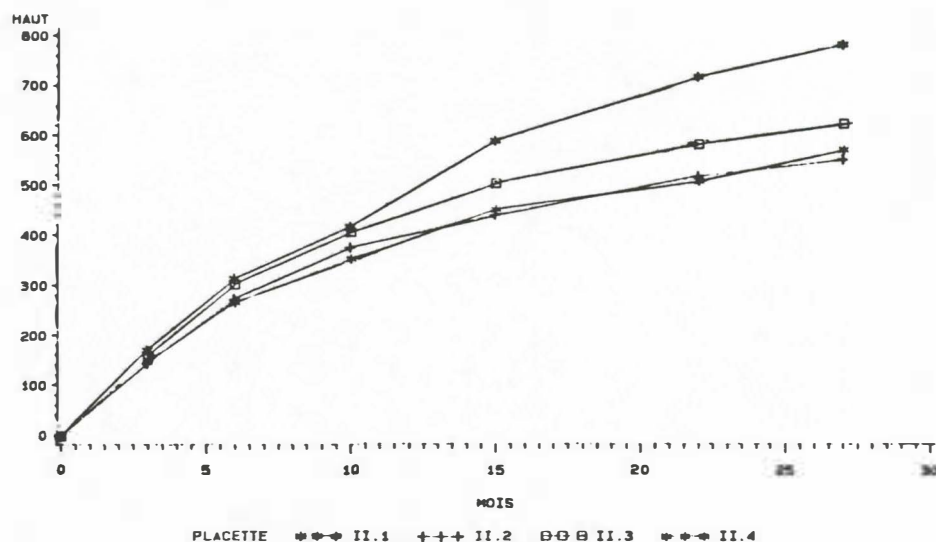
CRITERE : HAUTEUR



FREQUENCE D'IRRIGATION : 6 JOURS

EUCALYPTUS CAMALDULENSIS

CRITERE : HAUTEUR



FREQUENCE D'IRRIGATION : 8 JOURS

EUCALYPTUS CAMALDULENSIS

CRITERE : HAUTEUR

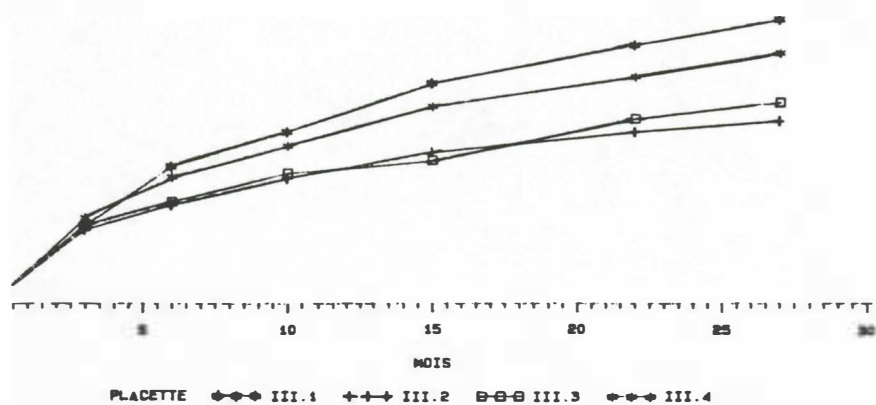


Schéma 18 :

Protocole à suivre pour l'élaboration d'un tarif de cubage d'arbres multicaules
(à partir des recommandations de J. STEWART - O.F.I.)

1

Choix d'un échantillon de 12 arbres de la même espèce

2

Identification et mesure pour chaque arbre de :

- . la longueur de la tige la plus longue (l)
- . la circonférence (ou le diamètre) à 0,30 m de toutes les tiges de l'arbre ayant une circonférence à 0,30 m supérieure à 3 cm ($C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$)

3

Coupe des arbres

4

Arbres découpés en rondins de 50 cm de long

5

Mesure du volume d'eau déplacé (V)
quand on plonge les rondins d'un arbre dans un récipient

6

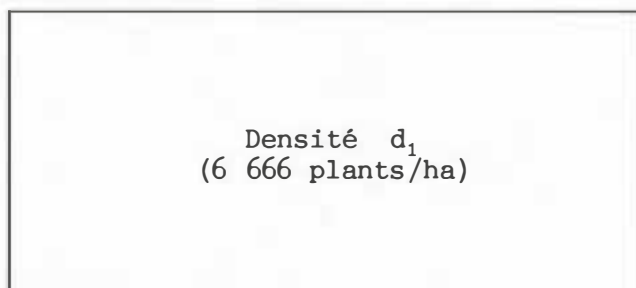
Obtention pour chaque arbre de

- . la longueur de la tige la plus longue (l)
- . la circonférence à 0,30 m de toutes les tiges (C_1, C_2, \dots, C_n)
- . son volume

Schéma 19 :

Essai CCT-plots sur parcelle d'*Eucalyptus camaldulensis* plantés initialement à forte densité

Avril 1989 : Plantation



Avril 1991 : Découpage de l'essai en 3 blocs
(suivant hétérogénéité topographique, pédologique).

Chaque bloc est divisé en 4 parcelles.

Mesure dans chaque parcelle de la circonférence moyenne.

				Bloc 1
				Bloc 2
				Bloc 3

Eclaircie ($d_1 \rightarrow d_2 = \frac{3}{4} d_1 = 5\,000$ plants/ha) dans 3 des 4 parcelles de chaque bloc.

d_1	d_2	d_2	d_2	Bloc 1
d_2	d_2	d_2	d_1	Bloc 2
d_2	d_1	d_2	d_2	Bloc 3

.../...

Avant que la compétition ne se déclare dans les parcelles à la densité d_1 ,

Eclaircie ($d_2 \rightarrow d_3 = \frac{3}{4} d_2 = 3\,750$ plants/ha) dans 2 des 3 parcelles (d_2) de chaque bloc.

d_1	d_3	d_2	d_3	Bloc 1
d_3	d_2	d_3	d_1	Bloc 2
d_3	d_1	d_2	d_3	Bloc 3

Avant que la compétition ne se déclare dans les parcelles à densité d_2 ,

Eclaircie ($d_3 \rightarrow d_4 = \frac{3}{4} d_3 = 2\,810$ plants/ha) dans 1 des 2 parcelles (d_3) de chaque bloc.

d_1	d_4	d_2	d_3	Bloc 1
d_3	d_2	d_4	d_1	Bloc 2
d_3	d_1	d_2	d_4	Bloc 3

Remarque : Lors d'une éclaircie, en moyenne 1 arbre sur 4 est coupé. L'éclaircie portera sur les arbres dominés ou mal conformés.

- Entre les éclaircies sont effectuées périodiquement des mesures de circonférence. La comparaison entre des parcelles supportant des densités successives (ex. : d_1 et d_2) permet de décider si la compétition s'est déclarée dans la parcelle ayant la plus haute densité (ex. : d_1).

A N N E X E S

ESSAI DOSE FREQUENCE : EUCALYPTUS CAMAL 1492/94

ANNEXE 1 : Données dendrométriques

N° PLACETTE	FREQUENCE 1 IRRIGATION TOUS LES 4 JOURS									
	Hauteur à 3 mois	H 2 à 6 mois	H 3 à 10 mois	C1,30 à 10 mois	H 4 à 15 mois	C1,30 à 15 mois	H à 22 mois	C à 27 mois	H 5 à 27 mois	C1,30 27mois
Placette 1	154,2 cm	270,8cm	358,8cm	8,4 cm	511,5cm	11,4cm	652,0 cm	15,8 cm	707,1cm	17,1cm
Placette 2	152,0 cm	301,3cm	413,9cm	10,1cm	585,5cm	13,4cm	731,4 cm	17,9 cm	769,8cm	18,9cm
Placette 3	140,7 cm	271,7cm	400,0cm	9,7cm	565,2cm	12,9cm	688,4 cm	17,4 cm	741,8cm	18,4cm
PLACETTE 4	175,7 cm	298,9cm	393,6cm	9,5cm	564,3cm	12,9cm	698,8 cm	17,4 cm	741,4cm	18,4cm
	FREQUENCE 2 IRRIGATION TOUS LES 6 JOURS									
	Hauteur à 3 mois	H 2 à 6 mois	H 3 à 10 mois	C1,30 à 10 mois	H 4 à 15 mois	C1,30 à 15 mois	H à 22 mois	C à 27 mois	H 5 à 27 mois	C1,30 27mois
Placette 1	172,6 cm	315,7cm	419,0cm	11,0cm	592,0cm	13,8cm	720,0 cm	17,8 cm	784,0cm	18,8cm
Placette 2	146,0cm	275,0cm	378,0cm	7,9cm	444,0cm	9,6cm	521,1 cm	13,1 cm	555,1cm	13,5cm
Placette 3	155,9cm	302,8cm	407,4cm	9,2cm	504,8cm	10,8cm	582,6 cm	14,4 cm	624,2cm	14,6cm
Placette 4	152,3cm	262,6cm	354,1cm	8,2cm	453,2cm	9,7cm	510,1 cm	13,4 cm	573,0cm	13,3cm
	FREQUENCE 3 IRRIGATION TOUS LES 8 JOURS									
	Hauteur à 3 mois	H 2 à 6 mois	H 3 à 10 mois	C1,30 à 10 mois	H 4 à 15 mois	C1,30 à 15 mois	H à 22 mois	C à 27 mois	H 5 à 27 mois	C1,30 27mois
Placette 1	143,9cm	262,4cm	331,4cm	7,1cm	428 cm	9,2cm	504,4 cm	12,6 cm	555,2cm	13,6cm
Placette 2	134,9cm	185,5cm	239,2cm	4,3cm	289,8cm	5,9cm	330,7 cm	8,1 cm	352,2cm	8,2cm
Placette 3	141,2cm	189,9cm	247,9cm	4,8cm	274,4cm	5,8cm	356,0 cm	8,9 cm	387,9cm	8,9cm
Placette 4	158, cm	239,6cm	302,5cm	6,6cm	380,6cm	7,4cm	439,6 cm	10,4 cm	487,5cm	10,6cm

ANNEXE 2 :

En annexes 3, 4 et 5 sont consignés les résultats de l'échantillonnage effectué dans chaque parcelle.

Soit une parcelle donnée (ex : parcelle A2 recevant une irrigation tous les six jours). Cette parcelle est découpée en h strates ($h = 5$). On

définit N_h et n_h ainsi :

. N_h : nombre d'unités dans la strate h $\left(\sum_h N_h = N \right)$

. n_h : nombre d'unités de sondage dans la strate h $\left(\sum_h n_h = n \right)$

Considérons la variable de mesure : nombre de perches/ha.

Le tableau restitué :

. Le nombre de perches/ha (y_i) pour chaque unité de sondage.

. Pour chaque strate h :

$$\text{moyenne } (\bar{y}_h) \quad \bar{y}_h = \frac{1}{n_h} \sum_i y_i$$

$$\text{écart-type } (s_{y_h}) \quad s_{y_h}^2 = \frac{1}{n_h - 1} \sum_i (y_i - \bar{y}_h)^2$$

$$\text{coefficient de variation (CV)} \quad CV = \frac{s_{y_h}}{\bar{y}_h}$$

$$\text{variance de la moyenne } (\text{Var}(\bar{y}_h)) \quad \text{Var}(\bar{y}_h) = \left(\frac{1}{n_h} - \frac{1}{N_h} \right) s_{y_h}^2$$

Ces tableaux permettent de calculer pour l'ensemble d'une parcelle :

Un estimateur de la moyenne du nombre de perches/ha :

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_h N_h \bar{y}_h$$

Un estimateur de la variance du nombre de perches/ha :

$$\text{Var}(\bar{y}) = \frac{1}{N^2} \sum_h N_h^2 \text{Var}(\bar{y}_h)$$

Un intervalle de confiance du nombre de perches/ha :

$$\bar{y} \pm t_{n-1} \sqrt{\text{Var}(\bar{y})}$$

t_{n-1} représente la valeur d'une v.a. de Student à $(n-1)$ d.d.l., pour un risque α donné.

Strate	N _R	n _R	Unités de sondage	Nombre de PERCHES / Ra			VOLUME / Ra			VOLUME de PERCHES / Ra		
				y _i	\bar{y}_R Δy_R	Var(\bar{y}_R)	n _i	\bar{n}_R Δn_R	Var(\bar{n}_R)	p _i	\bar{p}_R Δp_R	Var(\bar{p}_R)
S1	19	2	5	0	444 629	178038	13	16 4,2	8	0	5,5 7,8	27
			13	889	└ 142% ┐		19	└ 26% ┐		11	└ 142% ┐	
S2	19	2	6	3222	2277 1336	803203	52	44 11	58	44,5	29 22	223
			8	1333	└ 59% ┐		36	└ 26% ┐		13	└ 76% ┐	
S3	27	2	9	2000	1944 78	2799	42	42 0	0	20,5	19 1,8	1,4
			10	1889	└ 4% ┐		42	└ 0% ┐		18	└ 9% ┐	
S4	20	2	4	222	1044 1163	608656	21	23 2,8	3,6	5	9 5,6	14
			12	1867	└ 111% ┐		25	└ 12% ┐		13	└ 67% ┐	
S5	65	5	2	2000			31,5			21		
			3	2111			59			47		
			14	2333	2022 346	22117	45	53 14,5	39	31	34 9,4	16
			16	1444	└ 17% ┐		68	└ 27% ┐		34	└ 28% ┐	
			18	2222			60			36		
S6	17	2	15	2111	2055 78	2718	41	40 1,4	0,9	26	26 0	0
			17	2000	└ 4% ┐		39	└ 3% ┐		26	└ 0% ┐	
Bordure	32	3	1	2222			77			67		
			7	2889	2556 333	33367	36	72 33	333	25	54 25	195
			11	2556	└ 13% ┐		102	└ 46% ┐		71	└ 46% ┐	

$$\bar{y} = 1870 \text{ perches / Ra}$$

$$\text{Var}(\bar{y}) = 18203$$

$$\bar{n} = 46 \text{ m}^3 / \text{Ra}$$

$$\text{Var}(\bar{n}) = 13,3$$

$$\bar{p} = 29 \text{ m}^3 \text{ perches / Ra}$$

$$\text{Var}(\bar{p}) = 9,1$$

PARCELLE A2				Nombre de PERCHES / Ra			VOLUME / Ra			VOLUME de PERCHES / Ra		
Strate	N _R	m _R	Unités de sondage	y _i	\bar{y}_R $\left[\frac{\Delta y_R}{CV} \right]$	Var(\bar{y}_R)	n _i	\bar{n}_R $\left[\frac{\Delta n_R}{CV} \right]$	Var(\bar{n}_R)	p _i	\bar{p}_R $\left[\frac{\Delta p_R}{CV} \right]$	Var(\bar{p}_R)
S7	44	3	7	2889	2518 321 [13%]	31943	39	39 3 [8%]	2,8	22	25 2,6 [11%]	2,2
			8	2333			42			26		
			10	2333			36			27		
S8	18	2	6	2000	1778 314 [18%]	43370	50	40 14 [35%]	88	30	19 16 [84%]	106
			11	1556			30			8		
S9	76	6	5	2222	1981 602 [30%]	54374	34	43 9,5 [22%]	13,5	26	27 10,5 [40%]	16,8
			12	3000			50			46		
			13	2111			57			25		
			14	1556			38			14		
			15	1667			33			22		
			16	1333			44			27		
S10	25	2	1	444	422 31 [7%]	445	18	18 0 [0%]	0	6,2	6,1 0,1 [2%]	0,009
			3	400			18			6		
Bordure	31	3	2	2889	2815 231 [8%]	16017	83	69 14 [20%]	59	55	44 13,3 [30%]	53
			4	2556			70			47		
			9	3000			55			29		

$$\bar{y} = 2016 \text{ perches / Ra}$$

$$\text{Var}(\bar{y}) = 10778$$

$$\bar{n} = 41 \text{ m}^3 / \text{Ra}$$

$$\text{Var}(\bar{n}) = 4,5$$

$$\bar{p} = 26 \text{ m}^3 \text{ perches / Ra}$$

$$\text{Var}(\bar{p}) = 4,9$$

Strate	N _R	n _R	Unités de sondage	y _i	\bar{y}_R δy_R	Var(\bar{y}_R)	n _i	\bar{n}_R δn_R	Var(\bar{n}_R)	p _i	\bar{p}_R δp_R	Var(\bar{p}_R)
S11	11	2	2	1889	1611 393 └ 24% ┘	63373	27	26,5 0,7 └ 3% ┘	0,2	15	13 2,8 └ 21% ┘	3,3
			11	1333			26			11		
S12	11	2	4	111	55,5 78 └ 140% ┘	2526	16	15,5 0,7 └ 4% ┘	0,2	0	0 0	0
			12	0			15			0		
S13	118	8	1	1889	1278 675 └ 53% ┘	52816	32	26 6,4 └ 25% ┘	4,8	16	11 7,3 └ 66% ┘	6,2
			5	1778			30			18		
			9	1667			23			12		
			10	333			15			2,4		
			13	1556			25			10		
			14	1333			25			10		
			15	1556			35			21		
			18	111			21			0		
S14	30	3	7	0	0 0	0	15	11 4,7 └ 43% ┘	6,7	0	0 0	0
			16	0			6			0		
			17	0			13			0		
Bordure	32	3	3	0	259 357 └ 138% ┘	38317	17	18 2,3 └ 13% ┘	1,6	0	0,8 1,4 └ 175% ┘	0,6
			6	111			17			0		
			8	667			21			2,4		

$$\bar{y} = 878 \text{ parcelles / Ra}$$

$$\text{Var}(\bar{y}) = 19180$$

$$\bar{n} = 22 \text{ m}^3 / \text{Ra}$$

$$\text{Var}(\bar{n}) = 1,8$$

$$\bar{p} = 7 \text{ m}^3 \text{ parcelles / Ra}$$

$$\text{Var}(\bar{p}) = 2,1$$